

Grado Universitario en Ingeniería Mecánica

2017-2018

*Trabajo Fin de Grado*

# “DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN LONGBOARD ELÉCTRICO”

---

Alberto Castillo Rueda

Tutor

Julián Rey Moreno

Leganés, 2018



Esta obra se encuentra sujeta a la licencia Creative Commons **Reconocimiento  
– No Comercial – Sin Obra Derivada**

## **ABSTRACT**

The electric longboard is conceived as an electrified unipersonal vehicle which gives a solution to the short distance mobility in cities and regions where normally private vehicle mobility is restricted. Its use is focused for a last mile mobility, meaning the solution for that commute from the bus stop or the metro station to work or home, optimizing the energy usage and time of the user.

That being said, its use is not only focused on last mile mobility of commuting to work, it can be a life style, a way of expressing or having fun just as a biker or a cyclist or a skater on a conventional skateboard or longboard.

The possibilities for the technology are nearly endless as it will be seen in this project, being even able to stablish a new way of mobility for the whole population of cities or towns around the world, lowering pollution and congestion, which is a major problem in nowadays cities in our planet.

During this project there will be exposed the development and design phases of an electric longboard, the motivation behind it, possible future plans and fabrication process of a prototype.

### **Keywords**

Mobility; Electrification; Innovation; Climate change; Fossil fuel disconnexion; Motorized longboard.

## RESUMEN

El *longboard* eléctrico se concibe como un vehículo unipersonal electrificado que da solución al problema de la movilidad de corta distancia en ciudades y regiones en las que normalmente el transporte en vehículos ordinarios está limitado por el abrumador y lento tráfico que las invade. Su uso está intencionado a ser una movilidad de última distancia, siendo esta la distancia del tramo entre transportes públicos convencionales (tren, autobús) y destinos finales optimizando así la energía empleada y el tiempo del consumidor.

Aunque su uso no está solamente enfocado hacia el transporte entre dos puntos sino para muchos es un estilo de vida, una forma de expresión y de diversión sintiéndose igual que un motero encima de su moto, un ciclista encima de su bicicleta o un patinador sobre su patinete o *longboard* convencional, solo que con la capacidad de ser autopropulsados y recorrer grandes distancias sin fatiga.

No obstante, el abanico de posibilidades de esta tecnología es mucho mayor tal y como veremos a lo largo de este documento, siendo posible la implantación de un nuevo sistema de transporte de personas que fomente el transporte público convencional y consiga disminuir el uso de coches y por lo tanto el nivel de contaminación a los que se someten las ciudades de nuestro planeta.

Durante este documento se exponen las diversas etapas del desarrollo y diseño del *longboard* eléctrico, así como la motivación, la historia que tienen tanto a nivel mundial como de España, la fabricación de varios prototipos y la capacidad de negocio, entre otros.

### Palabras clave

Movilidad; Electrificación; Innovación; Cambio climático; Desconexión de combustibles fósiles; *Longboard* motorizado.

# ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN .....	12
1.1 Planteamiento del problema y motivación.....	12
1.2 Objetivos del Trabajo.....	13
1.3 Estructura del Documento .....	13
2. MÉTODOS.....	14
2.1 Acercamiento al problema .....	14
2.2 Estado del arte.....	14
2.2.1 ¿Cuál es estado del arte en el mundo de los <i>e-longboards</i> ? .....	15
2.2.2 Productos actuales en el mercado.....	15
2.3 Pasos previos.....	17
2.4 Aprendizaje obtenido .....	26
3. DISEÑO .....	29
3.1 Objetivo técnico .....	29
3.2 Componentes electrónicos principales.....	30
3.2.1 Elección de componentes piramidal. ....	30
3.2.2 Estructura principal y base del sistema.....	32
3.2.3 Motor .....	32
3.2.4 ESC.....	41
3.2.5 Baterías .....	47
3.2.6 Periféricos .....	52
4. PROTOTIPO.....	54
4.1 Tabla y ruedas .....	54
4.1 Motor y transmisión.....	55
4.1 VESC .....	56
4.1 Batería.....	57
4.1.1 BMS.....	58
4.1.2 Esquema y configuración del pack de baterías.....	58
4.1.3 Protección y empaquetamiento de la batería en el sistema .....	60

4.2	Periféricos .....	62
4.3	Conexiones y ensamblaje.....	63
4.4	BLDC tool.....	65
4.5	Resultados en pruebas reales .....	65
5.	Coste del proyecto.....	67
5.1	Coste de diseño .....	67
5.2	Coste de materiales .....	67
6.	LEGALIDAD Y SEGURIDAD.....	68
6.1	Leyes involucradas .....	68
7.	CONCLUSIONES .....	70
7.1	Conclusiones TFG .....	70
7.2	Conclusiones sobre proyecto emprendimiento innovador.....	70
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	71
9.	ANEXO.....	74
9.1	V-ESC [20] .....	74
9.2	Batería- Panasonic 18650 [1].....	78
9.3	BMS [29] .....	79
9.4	Diseño de cubrebaterías hecho en solidworks .....	80

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1. Clasificación de motores eléctricos [17].....	18
Figura 2-2. Motor SK3 aerodrive 6374 [14] .....	21
Figura 2-3. ESC Turnigy trackstar [14].....	21
Figura 2-4. Batería Zippy flightmax [14] .....	22
Figura 2-5. TX Qunum 2.4 Ghz [14] .....	22
Figura 2-6. Conjunto motriz de prototipo V1 .....	23
Figura 2-7. Carcasa de baterías impresa en 3D. A la izquierda el modelo CAD y a la derecha la pieza impresa.....	24
Figura 2-8. Diagrama del sistema eléctrico del prototipo V1 .....	24
Figura 2-9. Prototipo V1 completamente terminado .....	25
Figura 3-1. Diagrama de componentes eléctricos de Prototipo V2.....	30
Figura 3-2. Pirámide de elección de componentes .....	31
Figura 3-3. Sección transversal de un motor Brushless trifásico [17].....	34
Figura 3-4. Secuencia de conmutación de un motor BLDC [2] .....	35
Figura 3-5. Par-Velocidad de un motor BLDC [2].....	36
Figura 3-6. Representación de pérdidas en un motor brushless [17].....	38
Figura 3-7. Esquema de motores brushless outrunner e inrunner [2].....	38
Figura 3-8. Corriente, velocidad y eficiencia [2].....	40
Figura 3-9. Esquemática de conexión de una ESC [17] .....	42
Figura 3-10. Fases de funcionamiento de una ESC (Microchip Technology Inc., 2003) .....	42
Figura 3-11. Sensores Hall, back-emf y corriente de una ESC (Microchip Technology Inc., 2003).....	43
Figura 3-12. Diagrama de bloques para técnica de conmutación FOC [17] .....	45
Figura 3-13. Conmutación BLDC [2].....	46
Figura 3-14. Conmutación FOC trapezoidal [2].....	46
Figura 3-15. Conmutación FOC sinusoidal [2] .....	47
Figura 3-16. Estructura y química de una batería Li-on (Howstuffworks, 2006) .....	48
Figura 3-17. Características de carga de baterías de iones de Litio [21].....	50
Figura 4-1. Globe Big pinner 44" (Globe, 2014).....	54
Figura 4-2. Kit de ejes, ruedas, soporte de motores y transmisión de Torque boards [8] .....	55
Figura 4-3. Motor 6374 190kv de Torque boards [8].....	56
Figura 4-4. FOCBOX de Enertion [10] .....	56
Figura 4-5. Batería Panasonic NCR18650B [1] .....	57
Figura 4-6. BMS bestech power HCX-D223V1 [29].....	58
Figura 4-7. Esquema de conexión de las células en pack de baterías .....	59
Figura 4-8. Soldador por puntos casero.....	60
Figura 4-9. 1s3p a partir de Panasonic 18650 soldadas por punto con una tira de níquel .....	60

Figura 4-10. Pieza finalizada, impresa en Creality CR-10, 50h de impresión .....	61
Figura 4-11. Carcasa con baterías, BMS y monitor de capacidad instalados.....	62
Figura 4-12. Enertion Nano-X 2.4Ghz [13] .....	63
Figura 4-13. Lonboard eléctrico en configuración final. Vista de planta.....	64
Figura 4-14. Longboard eléctrico en configuración final. Vista isométrica.....	65
Figura 6-1. Propuesta de la DGT para diferenciación de VMP [28] .....	68

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Tabla comparativa de modelos en el mercado .....	16
Tabla 2-2. Comparación de los distintos tipos de baterías .....	19
Tabla 2-3. Resultados pruebas en campo .....	25
Tabla 2-4. Lessons learned .....	26
Tabla 3-1. Tabla de objetivos .....	29
Tabla 3-2. Tabla de comparación motores BLDC y Motores CC .....	32
Tabla 3-3. Iteraciones relación transmisión - kv .....	41
Tabla 3-4. Secuencia del funcionamiento de una ESC (Microchip Technology Inc., 2003) .....	43
Tabla 3-5. Capacidad vs autonomía .....	51
Tabla 4-1. Elección final para motor y relación de transmisión.....	55
Tabla 4-2. Tabla de resultados de pruebas en campo. ....	65



# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Planteamiento del problema y motivación

Nos presentamos ante diversos problemas, el principal siendo el deseo de la desconexión de combustibles fósiles hacia formas de movilidad más eficientes y, potencialmente en el futuro, completamente libres de emisión de Carbono. El cambio climático ha tenido claras repercusiones en los sistemas naturales. Por ejemplo, los cambios en las precipitaciones y el de la nieve y el hielo están alterando los recursos hídricos. Esto ha afectado a la distribución geográfica, las actividades de carácter estacional, los patrones de migración y la abundancia de numerosas especies, ya sean terrestres, marinas o de agua dulce.

Asimismo, el cambio climático ya ha causado en los sistemas humanos efectos observables para los que no estamos bien preparados. Cosechas con bajo rendimiento y vulnerabilidad de las comunidades con baja capacidad de adaptación son los más notables. Sin embargo, los problemas para la salud humana hasta el momento son relativamente leves. Por lo tanto, no podemos dejar que la situación siga agravándose o llegaremos a un punto de no retorno en el que dichos problemas afecten a la calidad de la vida humana.

Acto seguido el problema de sobrepoblación en las ciudades es siguiente en la lista según importancia, ya que el objetivo final de este proyecto es la fomentación de la migración del transporte privado en coches hacia el transporte público o individual. España, por ejemplo, tiene 505.000  $km^2$  pero solo se vive en el 13% de esa superficie, incrementando, así, la densidad de población. En Madrid la densidad de población es de 5.334,77 hab./ $km^2$ , un número que hace que la necesidad de dejar atrás el transporte convencional sea urgente.

También existe motivación tras la ineficiencia de los sistemas de transporte público, ya que, por muy buenos que sean, no están personalizados y en algunos casos la barrera que supone la distancia entre viviendas y trabajos respecto al punto de enganche con el transporte público puede suponer la clave para la decisión entre usar el vehículo personal o no.

Y, por último, la capacidad de crear un nuevo deporte, un nuevo estilo de vida, capaz de mover a masas por la movilidad personal electrificada y, más en concreto con la finalidad de este documento, por la movilidad sobre monopatines eléctricos.

Personalmente la última razón es la que hizo que empezase el primer prototipo en 2013/14, aunque después la motivación complementó cambió a la par que evolucionaba mi conocimiento sobre ingeniería e iba madurando mi visión global sobre el mundo. Aunque he de decir que mi pasión por construir artilugios y probar distintas configuraciones, así como aprender de mis errores ha sido una de las mejores motivaciones para seguir con el proyecto.

## **1.2 Objetivos del Trabajo**

El objetivo a largo plazo de este trabajo se trata de un primer paso dentro de un proyecto mayor en el que se intenta fomentar la movilidad eléctrica, el transporte público y la migración hacia un modo de movilidad sostenible alejándose del transporte ineficiente conducido por los combustibles fósiles. Dicho proyecto superior consiste en un proyecto de innovación basado en el *longboard* eléctrico cuyo fin será la creación de un kit multiplataforma capaz de electrificar distintos vehículos unipersonales de movilidad urbana con suficiente potencial para cambiar la forma en que la población ve el transporte actualmente.

Aun así, el objetivo a corta distancia, como ya se ha comentado, fue la creación de un vehículo de movilidad unipersonal portátil con la habilidad de sustituir o mejorar el transporte público urbano recortando el gasto en combustible y la huella de carbono.

## **1.3 Estructura del Documento**

El documento se divide en los siguientes capítulos:

1. Introducción
2. Métodos
3. Diseño
4. Prototipos
5. Estudio de mercado
6. Seguridad y homologación
7. Conclusiones
8. Bibliografía
9. Anexos

## **2. MÉTODOS**

### **2.1 Acercamiento al problema**

El acercamiento al problema en cuestión se hace partiendo de la experiencia obtenida tras haber realizado una versión 1 del prototipo años previos a la redacción de este documento y habiendo obtenido una serie de lecciones aprendidas y conocimientos durante y después de dicha fabricación. Este proyecto nace de los errores o mejoras que se podrían realizar en dicho prototipo V1, los cuales enriquecerán tanto la parte de diseño como la parte de prototipado, sin olvidar la posible mejora tras haber avanzado en la carrera de ingeniería y haber obtenido experiencia tanto en otros proyectos como trabajando. En los apartados 2.3 y 2.4 se explicará con más detalle el prototipo V1 y las nociones aprendidas que se podrán obtener de él, respectivamente.

El acercamiento que este nuevo proyecto tendrá será de carácter mucho más ingenieril y razonando todas las elecciones tanto técnicas como de diseño y justificando todas las decisiones, así como haciendo comparativas desde una visión mucho más madura desde un punto de la ingeniería de diseño y producto.

También en el momento de la realización del prototipo V1 el estado del arte en cuanto a electrificación de la movilidad unipersonal estaba muy poco avanzada y respecto al día en que este documento está siendo escrito, en 2018, el avance ha sido exponencial, llegando a tener distintos tipos de movilidad electrificada al alcance de la mayoría de los ciudadanos tanto en forma de motos y coches eléctricos de alquiler como una alta selección de vehículos eléctricos a un precio mucho más asequible. Hablaremos de dicha mejora exponencial en cuanto a la tecnología específica y el actual estado del arte en movilidad electrificada.

### **2.2 Estado del arte**

El estado del arte proviene originalmente del campo de la investigación técnica, científica e industrial y significa, en pocas palabras, la situación de una determinada tecnología. Lo más innovador o reciente con respecto a un arte específico.

En el caso de la movilidad unipersonal electrificada el avance en los últimos años ha sido exponencial, con aportaciones desde todas las direcciones, desde marcas de automóviles como Tesla hasta miembros más longevos como Audi, Bmw, Nissan... empresas no relacionadas con la automoción como Panasonic o Samsung en el tema del desarrollo de baterías de Li-on, empresas de electrónica, programadores particulares haciendo posibles controladoras de motores mucho más complejas, sin olvidar el gran avance en el mundo de radio control, donde la tecnología se empezó a desviar hacia vehículos de bajo tamaño y creando tecnología específica, teniendo que desarrollar todo tipo de componentes que fuesen capaz de soportar mayores cargas y estrés. En el siguiente subapartado se hablará más a fondo del avance dentro de la tecnología que nos interesa para este proyecto.

### **2.2.1 ¿Cuál es estado del arte en el mundo de los *e-longboards*?**

Dentro del mundo de los patinetes electrificados el estado del arte actual viene marcado por las principales empresas que operan en el sector, de las cuales hablaremos a continuación.

Como resumen, ya que entraremos más a fondo dentro de la tecnología en el capítulo de diseño, el estado del arte dentro de los e-longboards se encuentra entre las baterías de Litio, ya sean Lipo o Li-on, las segundas comúnmente utilizadas gracias a su superior estabilidad y facilidad de manejo. También, aunque las baterías Lipo son capaces de entregar mayor potencia instantánea por su construcción química, no pueden desarrollar tanta autonomía como las baterías Li-on y son más peligrosas por lo que estas últimas son las más usadas en cuanto a productos de mercado.

En cuanto a trenes motrices, los motores brushless (sin escobillas) son los más usados, estando el estado del arte en motores internos dentro de las ruedas, con transmisión directa y mínima pérdida de energía en dicho proceso de transmisión. Los controladores que estos, los motores, requieren, son los denominados VESC, un tipo de ESC (en inglés, electronic speed controller, controlador electrónico de velocidad) de fuente abierta altamente modificable y personalizable para cada sistema. De nuevo, los componentes técnicos serán explicados con más detalle en el capítulo de diseño.

### **2.2.2 Productos actuales en el mercado**

Actualmente en el mercado existen varias marcas de e-skates o e-longboards, así como aquellas dedicadas a distintos VMP electrificados. Las empresas existentes en la actualidad son pequeñas start-ups que intentan hacerse un hueco en el mercado de la movilidad personal, las más conocidas son las siguientes:

- **Boosted boards:** Creada en 2012, fundada a través de Kickstarter con un presupuesto de unos 500.000€, es la marca de patinetes eléctricos más famosa del planeta. Ofrece longboards de alta calidad, con alta potencia de unos 2000W y muy buen acabado con una baja autonomía de unos 11km. Tienen distintos modelos y los precios están en torno a 1500\$.
- **Acton:** Se trata de una empresa creada en 2014, fundada también a través de Kickstarter con un presupuesto similar a la primera cuyo mercado es más amplio dentro de los e-longboards, más centrados en modelos más económicos pero con peor rendimiento y autonomía.
- **Enertion:** Creada recientemente, ya posee distintos modelos y nació originalmente como una empresa dedicada a la fabricación y venta de partes de e-longboards, llegando a crear una de las mayores redes de creadores de patinetes eléctricos dentro de su foro derivado ESK8. Parte de su mercado en la actualidad sigue siendo fabricar componentes como baterías, ESCs y controladores remotos. Produce los patinetes eléctricos con motores HUB más potentes del mercado, también fueron los primeros en hacerlo.

- Inboard: De las empresas más recientes en salir al mercado, también fundada en Kickstarter y famosa por su diseño compacto que no deja ningún componente a la vista.
- Mellow boards: Basada en Alemania, es la marca europea por excelencia en cuanto a e-longboards de calidad. Disponen de sistemas modulares que se atornillan como unos ejes normales a una tabla, el sistema propone sus problemas, peso y rigidez siendo sus mayores, pero parecen haberlos superados con éxito.
- Yuneec E-Go: Se trata de una marca china, con un precio sin competencia (XXX€), pero con prestaciones muy débiles que hacen que en la mayoría de los casos no sea una buena inversión.

A continuación, se resume dicha información en una tabla con la finalidad de obtener los puntos fuertes y débiles de cada compañía:

Tabla 2-1. Tabla comparativa de modelos en el mercado

Compañía / modelo	Precio (€)	Potencia (W)	Peso (kg)	Autonomía (km)	Velocidad máxima (km/h)	Máxima pendiente	Estética (1-10)	Controles (1-10)
Boosted boards-Boosted stealth	1699	2000	7.8	23	40	25%	10	9
Acton Blink S2	599	1000	6.8	23	30	20%	4	8
Enertion Raptor 2	1600	2500	11.4	40	49	25%	8	10
Inboard M1	1499	1600	6.57	11	35	15%	10	6
Mellow cruiser	2049.9	1500	7.1	15	40	20%	5	8
Yuneec e-go 2	450	400	6.3	30	20	15%	6	6

Todos los datos anteriormente escritos en la tabla comparativa están obtenidos de las respectivas páginas de las compañías.

Los anteriormente mencionados son los productos más conocidos y de mayor calidad, aunque actualmente muchos productos relacionados con e-longboards están saliendo al mercado a diario, siendo el transporte unipersonal electrificado, un mercado emergente.

#### **2.2.2.1 Productos en 2013**

Como se ha enumerado en la lista anterior, al comienzo del primero prototipo solamente Boosted boards existía y solamente en el marco Californiano, en Estados Unidos. En el momento, solamente unos pocos aficionados disfrutaban de esta tecnología, solamente se podía hacer dese un punto de auto creación y no había nada específico para poder construir los monopatines eléctricos. Por lo tanto, haría falta utilizar tecnología importada de otros sectores y fabricar desde cero todo lo necesario para hacer posible este proyecto.

#### **2.2.2.2 Productos en España**

En el momento, 2013, en ningún sitio se hablaba de patines eléctricos, incluso los coches o motos eléctricas parecían algo futurista o estaban empezando a despegar en las principales ciudades del país. Toda la información, si existía, estaba en inglés y en foros o lugares escondidos de internet, la mayoría de la información provenía de prototipos o proyectos personales de inventores y estudiantes. Por lo tanto, así como los componentes tendrían que ser importados e improvisados desde otros mercados y sectores también tendría que ser la información y el know-how sobre e-longboards.

Actualmente sigue siendo difícil hacerse con cualquiera de los patinetes electrificados mencionados anteriormente, por su alta demanda mundial y la baja demanda en España, tanto por precio como por falta de información de que directamente esta tecnología está al alcance del ciudadano. Es así como el Yuneec E-Go es el más extendido e incluso llegando a estar presente en grandes superficies por su bajo precio.

En cuanto a longboards eléctricos caseros, en el momento en que este documento está siendo escrito, no se conocen muchos y, como antes se ha comentado, la tecnología no es conocida.

### **2.3 Pasos previos**

Como se comentó en la introducción, este proyecto comenzó en 2013 con la creación de un prototipo con la finalidad de mejorar la movilidad urbana de corta distancia, reduciendo la huella de carbono, así como el gasto en carburante y reduciendo tiempos de transporte e incluso haciéndolo posible durante las horas en las que el transporte público en Madrid se encontraba cerrado. Motivo no menos importante era saciar la necesidad de aprender una tecnología emergente y no instruida en la universidad y, a la vez, creando y produciendo un prototipo en el cual el aprendizaje era extenso, tanto en el ámbito de fabricación como de diseño y en todo momento pensando en mejoras para las versiones futuras ya que la primera versión estaba bastante limitada económicamente. El

presupuesto para todo el proyecto rondaría los 300-400€ y, como veremos a la hora de hacer el desglose de costos en el capítulo, será bastante bajo para la realización de un prototipo robusto y duradero.

Tras una extensa investigación sobre la tecnología y los componentes que podrían utilizarse, se llegó a la conclusión de que, sin la existencia de electrónica específica en el momento, la mejor tecnología tendría que provenir de un sector afín capaz de proveer los materiales de manera que el coste tuviese sentido y que fuesen capaces de ser suficientemente eficaces y resistentes para poder ser introducidos en un patinete cuyo objetivo, en el momento, era que tuviese en torno a 10km de autonomía, pudiera vencer pendientes en torno a 15-20% y viajar a unos 25-30km/h de velocidad máxima, siendo suficientemente portátil para poder ser transportado sin mucho esfuerzo en zonas como el metro, el centro de Madrid o en interiores de edificios, habiendo estimado el peso máximo en 10kg.

En este apartado vamos a centrarnos en la elección de los componentes, pero no en una extensa explicación de la tecnología que los envuelve, esa parte vendrá en el capítulo 3 con la elección de los componentes del proyecto actual. La tecnología en cuanto a motores eléctricos de corriente continua se divide principalmente en dos grandes ramas, motores con escobillas (corriente continua, DC) y motores sin escobillas o “Brushless” (BLDC):

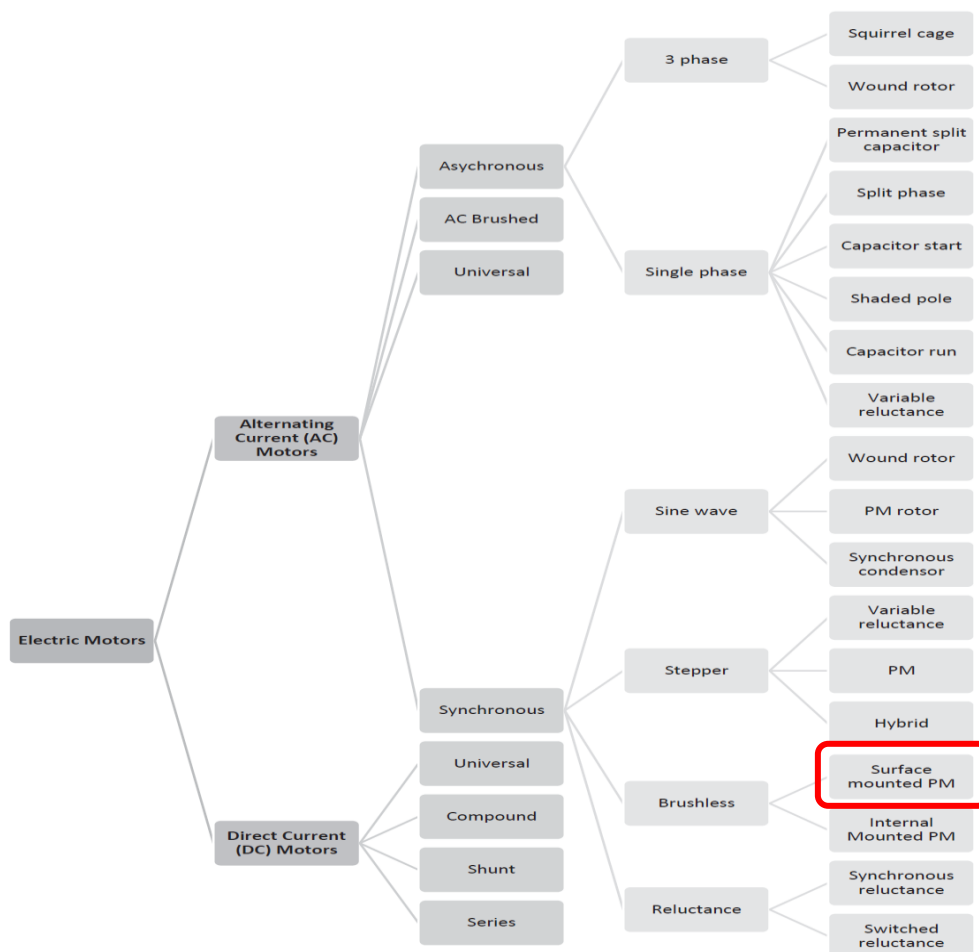


Figura 2-1. Clasificación de motores eléctricos [17]

Los motores sin escobillas son más eficientes, tienen un menor rozamiento por no conmutar vía escobillas y con una mayor ratio de potencia/peso, por lo tanto, la decisión a tomar era bastante clara, una mayor eficacia junto a una densidad mayor de potencia por peso haría que los motores brushless fuesen la elección adecuada. Esta decisión en el momento estaba respaldada por las marcas de e-longboards anteriormente mencionadas en el punto 2.2.2.1. Se estudiará en profundidad la elección en el capítulo de diseño.

Tras la elección de un motor Brushless habría que elegir el resto de componentes electrónicos, sería necesaria la elección de una ESC (Controladora Electrónica de Velocidad, del inglés Electronic Speed Controller), un componente necesario ya que al haber elegido un motor brushless era necesaria una controladora para poder mover el motor, con beneficios como frenada regenerativa y control preciso de la velocidad realmente no se podría considerar una desventaja de los motores Brushless.

Para dar energía a todo nuestro sistema sería necesario almacenar dicha energía de manera eficiente y densa, en unas baterías cuyo peso no excediese el límite de la manejabilidad de todo el producto y a la vez fuesen capaz de llegar a la potencia requerida y mantenerse con suficiente carga para cumplir con la autonomía deseada. En el momento las principales elecciones podrían ser dos: baterías de ácido-plomo y baterías LiPo (Polímero de litio, del inglés Lithium Polimer), y, aunque ya se habían utilizado las baterías de iones de Litio (Li-on) en coches como los Tesla un año antes, tenían un precio muy elevado y bastante difíciles de conseguir y utilizar. También podrían utilizarse baterías de NiMH (níquel-metal hidruro). En la siguiente comparativa podemos ver las diferencias, pros y contras:

*Tabla 2-2. Comparación de los distintos tipos de baterías*

	Densidad (Wh/kg)	Densidad (Wh/l)	Capacidad/ precio(Wh/€)	PROS	CONTRAS
Ácido- Plomo	32.69	91.59	3.6	Segura, fácil de cargar y barata	Muy baja densidad, no se puede usar por falta de espacio
NiMH	98	391.48	0.69	Más segura y barata que baterías de Litio	Necesita carga por células y la densidad no es tan alta como baterías de Litio



Li-on	209.3	544.14	1.38	Densidad muy alta y descarga consistente a alto amperaje.	Precio muy elevado. Peligrosas si se sobrecargan o reciben un impacto. En 2013 muy difícil de conseguir.
LiPo	153.1	376.73	0.89	Densidad muy alta, por debajo de Li-on, pero considerablemente por encima del resto. Descarga consistente y capaz de producirse a picos de 50-75C	Precio elevado, por debajo de Li-on. Necesita cargador especial y son peligrosas.

La elección correcta en este sentido serías las LiPo, aunque su precio en el momento era bastante elevado comparado con las no-Litio y solo podrían conseguirse en mercados muy específicos y probablemente tener que ser importadas, aunque más accesibles que las Li-on en 2013, baterías que estudiaremos en el diseño del nuevo prototipo. El margen de presupuesto libre se estaba quedando muy corto tras el cálculo de lo que serían todos los componentes.

En cuanto a la forma de controlar el e-longboard la opción más barata sería con un potenciómetro directamente conectado con cable a la ESC, pero esto haría que todo el sistema fuese muy aparatoso de controlar y en caso de desestabilización y caída el longboard no podría ser frenado a distancia e incluso la integridad de la conexión entre mando y longboard se vería comprometida. Otra opción sería bluetooth, la manera más artesanal y sencilla sería programándolo en una placa de Arduino con un módulo Bluetooth y un emisor como podría ser un controlador de una consola Wii o similar. Todo esto sería muy complejo para la simplicidad que debería tener el sistema de control del patinete. Por último, estaba la opción de radio, una emisora y receptor podría ser bastante compacto y suficiente potente y fiable para ser montado en el longboard y su precio bastante asequible en algunos mercados o sectores. Esta última sería la mejor elección y la que se eligió en su momento.

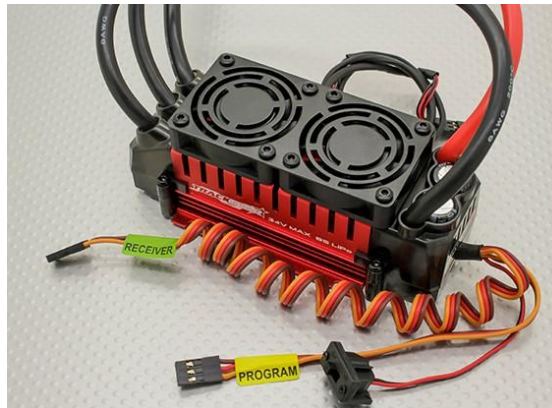
La tecnología, pues, tendría que venir del sector de los coches RC, habiendo evolucionado mucho en los años anteriores a la construcción de este primer prototipo y con un coste, que, aunque fuese elevado, podría verse disminuido gracias a la importación de componentes desde China y el amplio mercado disponible en Madrid. En cuanto a los componentes específicos del sistema, estos fueron los elegidos:

- Motor: El motor fue importado desde China, un Turnigy Aerodrive SK3 – 6374 - 192KV, un motor dedicado a aviones de RC con una potencia máxima de 4032W a 43.2V (12s) y 80A. Precio: 83.90€



*Figura 2-2. Motor SK3 Aerodrive 6374 [14]*

- ESC: La controladora de motor también sería importada desde china, una Turnigy Trackstar 1/5th scale sensorless de 200A de corriente pico para baterías de 8s, opto (sin BEC incorporada) y programable. Precio: 122.60€



*Figura 2-3. ESC Turnigy trackstar [14]*

- Baterías: Las baterías LiPo fueron importadas también, aunque esta vez por precio, ya que eran disponibles en Madrid en algunas tiendas de RC. Se trataba de unas Zippy flightmax 3S1P de 5800mAh y ratio de descarga máximo de 30C. Se decidió colocar 2 en serie para conseguir un voltaje nominal del sistema de 21.6V y 5800mAh (6S1P). Precio: 2x36.40€



Figura 2-4. Batería Zippy flightmax [14]

- Emisor y receptor: En cuanto al emisor y receptor se decidió por un conjunto de RC, la opción más barata, sin dejar de cumplir todos los requisitos mínimos, aun siendo un poco voluminoso. Una RX y TX de 2.4GHz de la marca Qanum. Precio: 21.54€



Figura 2-5. TX Qanum 2.4 Ghz [14]

En cuanto a componentes de transmisión, sujeción de motor, conexiones eléctricas y transformador para conectar el receptor (BEC) fueron componentes a los cuales se les dio baja prioridad e importancia al principio y los cuales resultaros no ser triviales una vez se procedió a la realización del prototipo V1.

Transmisión: La elección tendría que estar dentro del campo de transmisiones por cadena o correa ya que por engranajes o *direct-drive* en el momento no podrían ser viables. Engranajes por la complejidad y la precisión que tendría que tener en anclaje del motor y *direct-drive* directamente había sido estudiado como inalcanzable en el momento por falta de tecnología y robustez en los motores brushless que había en el momento, aunque cierto, serían dos métodos más eficientes que cadena o correa. La elección sería correa por su mayor versatilidad a la hora de tolerancia en el posicionamiento del motor y precio más asequible. Los cálculos para conseguir la velocidad y par necesarios fueron hechos y se usó un conjunto de “RS componentes”.

Lo siguiente en la lista sería el soporte del motor. El eje del patinete suele ser de una aleación de aluminio, en el caso del primer prototipo no fue posible conocer la aleación exacta utilizada en los ejes de serie de la tabla, y, por falta de acceso a un soldador TIG y falta de presupuesto para encontrar el material adecuado y trabajarlo para crear el soporte diseñado, se realizó en acero, el material disponible en el momento, teniendo, en este caso, experiencia y acceso a soldadura de electrodo. En cuanto a la unión al eje del eje trasero se realizó con tornillos, una unión sencilla que permitiría ajuste y la posibilidad de desmontar el sistema cuando fuese necesario. En la siguiente imagen se puede apreciar la unión del soporte del motor, el propio soporte de motor y la transmisión compuesta por polea motriz, correa y polea conducida.



*Figura 2-6. Conjunto motriz de prototipo V1*

En cuanto al resto de componentes, se utilizó cable de silicona, conectores tipo “bullet” oro, con baja resistencia, interruptores de electrónica, los cuales resultaron ser propensos a crear chispas al conectar las baterías y todo el sistema se soldó con estaño y protegió de los elementos con sistemas aislantes. También se creó un protector de baterías con prototipado rápido, ABS en impresión 3D.

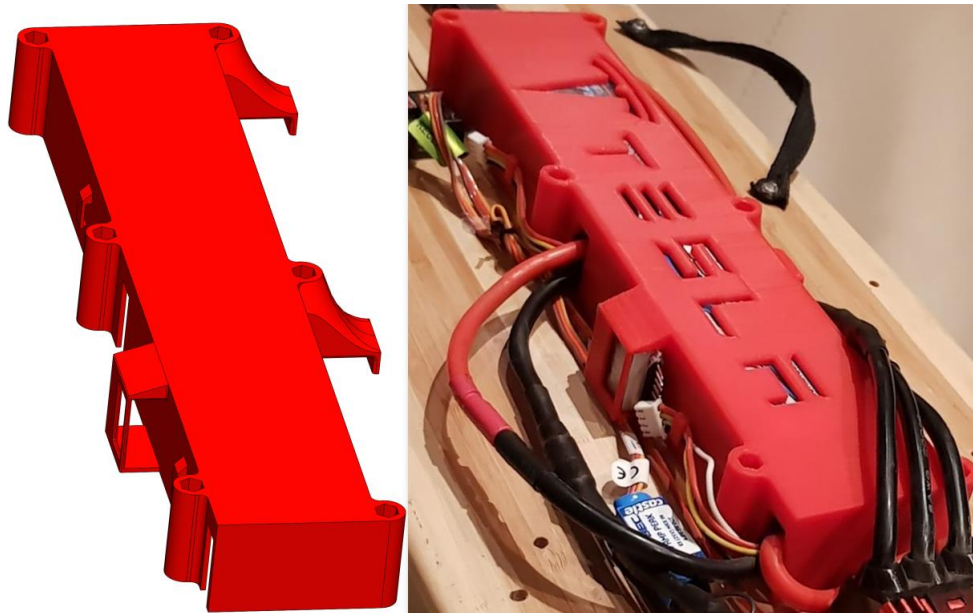


Figura 2-7. Carcasa de baterías impresa en 3D. A la izquierda el modelo CAD y a la derecha la pieza impresa

En el siguiente esquema se puede observar como el sistema estaba montado junto con el modelo de cada componente anteriormente explicado.

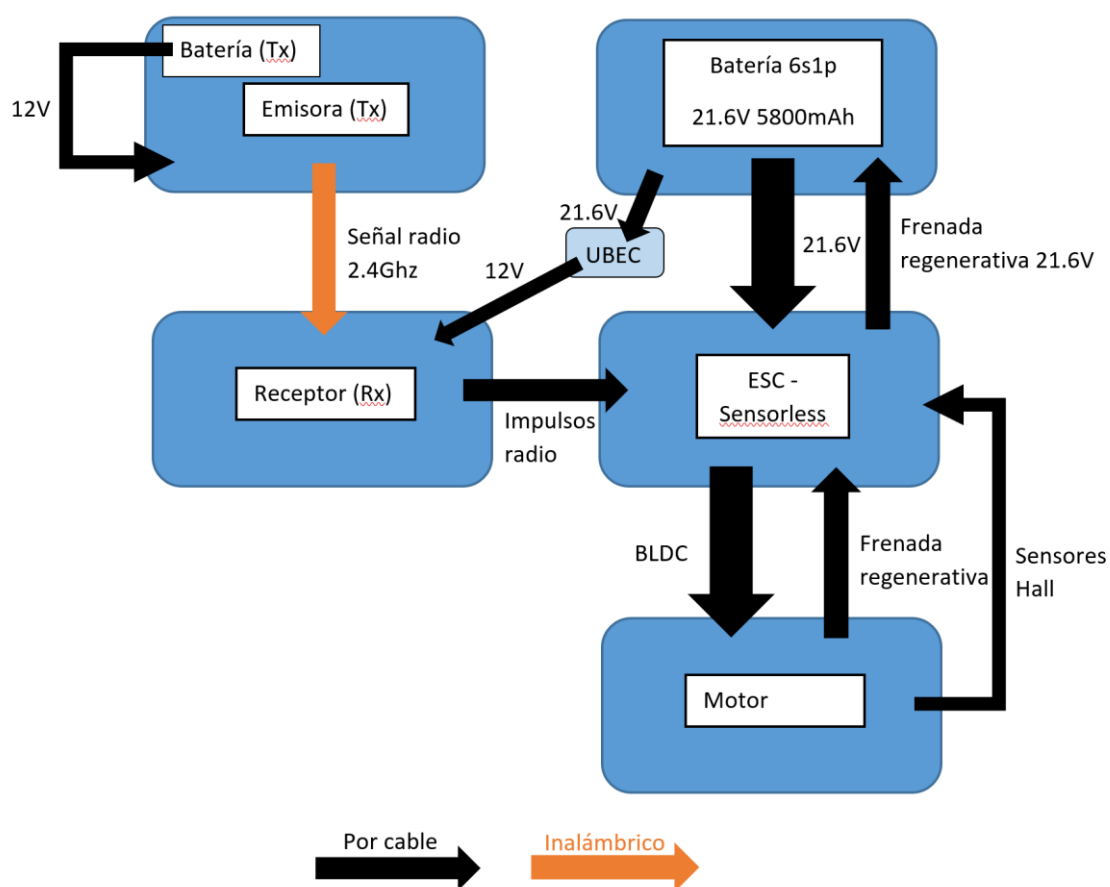


Figura 2-8. Diagrama del sistema eléctrico del prototipo V1



Y en la Figura 2-9 podemos ver la última iteración del prototipo V1, de abajo a arriba se puede observar la ESC, el conjunto de baterías, con su respectivo protector impreso con prototipado rápido, a su lado el receptor de radio y la BEC y por último en la parte superior el motor junto con su soporte y la transmisión.



Figura 2-9. Prototipo V1 completamente terminado

Dicho prototipo V1 acabó teniendo las siguientes características en las pruebas realizadas:

Tabla 2-3. Resultados pruebas en campo

	Precio (€)	Power (W)	Peso (kg)	Autonomía (km)	Vel. Máx. (km/h)	Máxima pendiente	Estética (1-10)	TX y RX (1-10)
Proto V1	450	2000	8	15	32	15%	5	5

## 2.4 Aprendizaje obtenido

En general, el aprendizaje en el ámbito de soldadura, manufactura, diseño CAD y eléctrico no será relevante en cuanto a este apartado, donde lo importante serán las lecciones aprendidas específicas relacionadas con los componentes y el diseño de un e-longboard.

En la siguiente tabla se aprecian las distintas lecciones aprendidas específicas a partir del primer prototipo del longboard eléctrico en los distintos ámbitos:

*Tabla 2-4. Lessons learned*

<b>Ámbito</b>	<b>Lecciones aprendidas</b>
Estabilidad	El mayor problema con el que el diseño del primer prototipo se encontró fue en la fase de pruebas. La estabilidad en aceleración, frenado y giros cerrados no era idónea y podría ser mejorada notablemente con la introducción de tracción al eje completo.
Elección de componentes	Se debe seguir una estructura piramidal partiendo del componente limitante, adecuando este a los objetivos de rendimiento
Gastos	Los componentes periféricos, cables y conexiones suponen un gasto importante al final que merece ser considerado, llegando a estar en torno al 15%
Soporte motor	Como ya se estimó antes de comenzar la fabricación del prototipo, la alineación entre el eje de la rueda y del motor es crucial, así como el ajuste de la correa, por lo tanto, un soporte de motor casero no será suficientemente preciso como para ser lo fiable y duradero que precisa este proyecto. La mejor opción sería un mecanizado del eje con la incorporación del soporte en el mismo
Engranajes	El mayor problema de manufactura al que el prototipo se enfrentó fue la alineación del engranaje secundario con la rueda de

	<p>poliuretano, se podría haber usado una rueda con “llanta” que facilitase esta tarea</p>
Factor de seguridad en la elección de los componentes	<p>Se debe tener en cuenta un factor de seguridad alto a la hora de considerar la resistencia de los componentes. Por ejemplo, elegir una UBEC (Universal Battery eliminator circuit, transformador de tensión desde la batería principal al receptor de radio) con 150% de amperaje máximo de la ESC o considerar un mayor cable con menor resistencia para aumentar la eficiencia, aunque se aumente el peso</p>
Anti-spark	<p>La alta tensión y amperaje del sistema hacen que al ser conectadas las baterías se produzcan chispas en las conexiones, llegando a ser dañino para los aislantes o pudiendo provocar un accidente</p>
Compatibilidad de componentes	<p>Aunque parezca obvio, la compatibilidad de componentes es difícil de conseguir cuando un sistema se compone de distintas partes de distintas marcas y distintos sectores, llegando a ser mortal para algunos componentes la falta de sinergia</p>
Sobrecarga de baterías y desestabilización	<p>Con la frenada regenerativa se conseguía sobrecargar la primera célula de la batería LiPo y desestabilizar la carga de la misma dependiendo del recorrido tomado y la forma de conducción. Será necesario incorporar un sistema de control de células, tanto para descarga como para carga (BMS, Battery management system)</p>
Arranque desde parado	<p>Al iniciar la marcha, ya que el motor utilizado no tenía sensores de posición, la aceleración era brusca, con saltos de polaridad entre el bobinado, pero sin llegar a mover el propio rotor por lo que la experiencia de arranque no era placentera, llegando a tener que impulsarse hasta conseguir empezar el movimiento. La solución será, pues, utilizar motores con</p>



	sensores HALL para poder informar a la ESC en qué posición se encuentra el rotor frente al estator
--	--

### 3. DISEÑO

#### 3.1 Objetivo técnico

El objetivo en el nuevo prototipo tendrá que desafiar, no solo lo anteriormente conseguido, sino intentar mejorar en todos los ámbitos los productos actuales en mercado explicados en la Tabla 2-4. Lessons learned. Por lo tanto, los siguientes serán los objetivos del sistema, de izquierda a derecha, menor a mayor importancia:

Tabla 3-1. Tabla de objetivos

Ámbitos	Objetivos
Estabilidad	Tracción a dos ruedas traseras, con dos motores ya que utilizar un diferencial sería muy complejo y además se necesitaría un motor muy grande para obtener los resultados que se buscan en el proyecto, y obtener un tamaño de tabla óptimo, al igual que de ruedas. Tabla de en torno a 40" (102cm) que proporcione estabilidad y cuya rigidez y torsión sean suficientes sin comprometer la manejabilidad a baja velocidad y ruedas de longboard con rodamientos de alta velocidad de suficiente diámetro para poder alojar la polea conducida y ser más estables a alta velocidad
Velocidad máxima y potencia	La velocidad máxima debería estar en torno a los 45km/h siendo capaz de ascender pendientes de 30° al menos a 25km/h
Autonomía	La autonomía será de unos 30km, siendo el peso un aspecto negativo a tener en cuenta en cuando al aumento de la capacidad de las baterías del sistema
Peso	No deberá superar los 8kg
Controles	Debido a la simplicidad y el precio se decide utilizar un remoto de radio. Para el prototipo se usará el del Enertion raptor 2
Estética	El objetivo en cuanto a estética es mantener todo lo no necesario fuera de la vista, manteniendo la sencillez del longboard e intentando mantener todo el sistema dentro de un solo caparazón. También la seguridad será un aspecto importante a tener en cuenta previo diseño de la carcasa del sistema

Tras la elección de componentes se definirían los objetivos de potencia y precio reales, ya que son funciones derivadas de lo anteriormente explicado.

En cuanto al objetivo técnico se deben aplicar las lecciones aprendidas del primer prototipo, así como todas las mejoras en materia de tecnología que han ido apareciendo desde entonces y la ampliación del conocimiento sobre e-longboards.

### 3.2 Componentes electrónicos principales

Los componentes del sistema se ven representados en el siguiente diagrama de bloques, así como la interacción entre ellos.

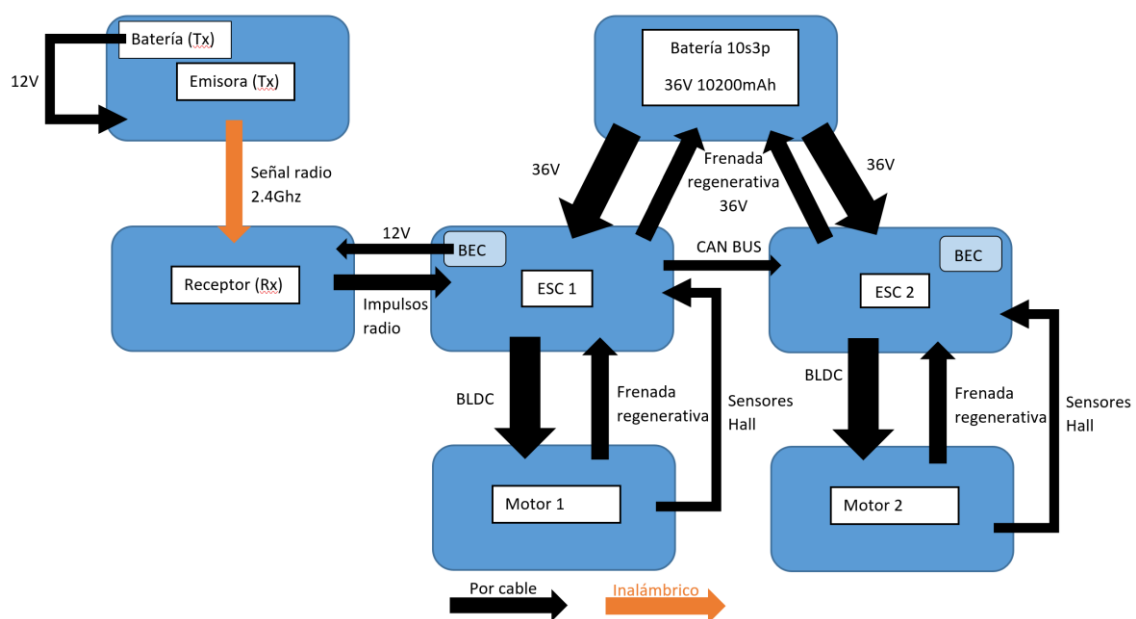


Figura 3-1. Diagrama de componentes eléctricos de Prototipo V2

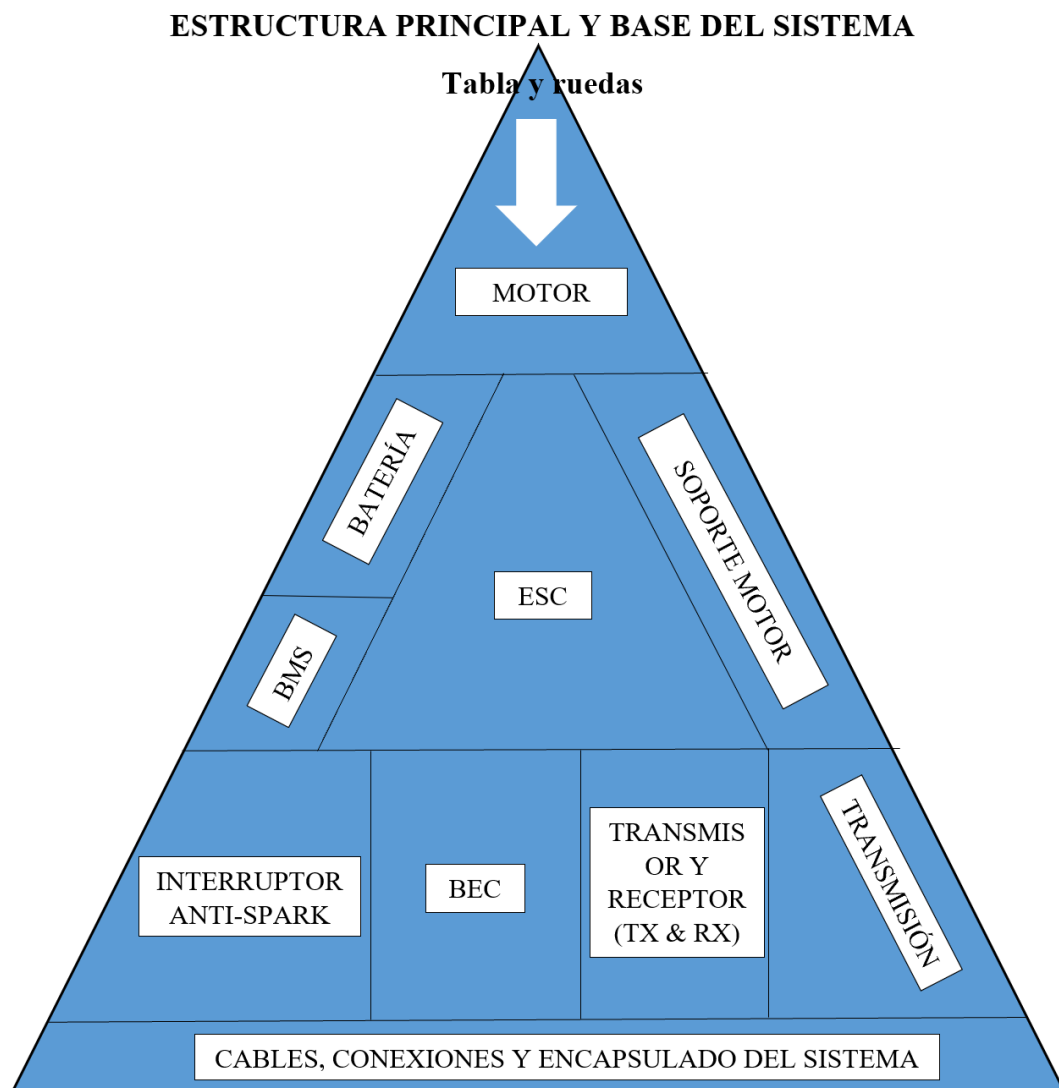
Se observan diferencias notables frente al diagrama del prototipo V1, principalmente la duplicación de motores, a la vez que ESCs, al ser necesario tener una ESC por motor para poder moverlos a distinta velocidad, necesario cuando el vehículo se enfrente a condiciones de curvas en las que las ruedas exteriores girarán a mayor velocidad que las interiores. También se pueden apreciar señales como los sensores HALL y el traspaso de datos entre ESCs por CAN BUS, partes que explicaremos en los siguientes apartados.

#### 3.2.1 Elección de componentes piramidal.

En cuanto al método de elección de componentes se implementará la elección de componentes piramidal, priorizando los objetivos y adaptando cada parte del sistema a estos, empezando por el componente limitante, que será el componente en la parte superior de la pirámide.

En cuanto a los componentes que definen el primer objetivo, la tabla y tamaño de ruedas son los principales, de hecho, es la base del aparato y debe ser elegido al principio, también restringiendo tamaño del resto de componentes y forma.

La parte del sistema que más restringe el segundo objetivo, velocidad máxima, será el motor, por lo tanto, tendremos que considerar dicho componente como componente limitante y cúspide de la pirámide, después a partir de la elección del motor se debe elegir una ESC capaz de alimentar dicho motor, con el suficiente output de amperaje y voltaje necesario, pero a la vez tiene que estar en sincronía con la batería y poder soportar el voltaje que esta libera. La batería, a su vez, por su capacidad, será el componente que determine, una vez que se tengan en cuenta las pérdidas energéticas, el segundo objetivo definido: la autonomía. También jugará un papel esencial en los objetivos de peso y precio, siendo la parte del sistema más pesada y costosa. También al mismo nivel se debe elegir el soporte de motor y la transmisión una vez han sido elegidos los motores y la tabla. Por último, se elegirán periféricos, así como conexiones, interruptores y transmisor.



*Figura 3-2. Pirámide de elección de componentes*

### 3.2.2 Estructura principal y base del sistema

Cumpliendo los objetivos puestos para el proyecto se necesitará un longboard de en torno a 40" (102cm) constituyendo un sistema estable a alta velocidad y en el que se puedan integrar todos los componentes con facilidad y sin hacer que pierda la altura con el suelo que hará que pueda ser pilotado sobre elementos de la calzada como aceras o baches. Tendrá que ser una tabla con flexibilidad intermedia, para poder compensar con las dimensiones de la misma a la hora de girar, por lo tanto, se buscará una madera de bambú o similar.

En cuanto a las ruedas y ejes, para conseguir la estabilidad necesaria y poder introducir dos motores en un mismo eje, y en el mismo sentido, para que el sistema sea lo más compacto posible, se considerará un eje más ancho de lo normal, 218mm, lo que proporcionará una mayor estabilidad a altas velocidades. En el caso de las ruedas hay que tener en cuenta las lecciones aprendidas del prototipo V1 por lo que se buscarán unas ruedas de mayor diámetro (97mm) y cuyo centro no sea sólido, sino que tenga forma de llanta para poder acoplar con fiabilidad la polea conducida.

### 3.2.3 Motor

Para poder cuestionar la elección de un motor BLDC se necesita hacer una comparación con un motor de corriente continua de conmutación con escobillas, de esa manera se pueden apreciar los puntos fuertes y débiles que llevarán a una elección fundamentada.

Tabla 3-2. Tabla de comparación motores BLDC y Motores CC

	Motor BLDC	Motor CC con escobillas
Conmutación	Conmutación electrónica basada en sensores Hall de posición o, de peor manera, posicionamiento sensorless	Conmutación a partir de las escobillas
Mantenimiento	Bajo rozamiento y falta de escobillas, por lo tanto, bajo mantenimiento necesario	Al tener escobillas el mantenimiento es mayor
Vida estimada	Más larga que con escobillas	Más corta que BLDC
Performance	Par decreciente a la vez que aumentan las RPM linealmente	Par decreciente a la vez que aumentan las RPM, pero siguiendo la forma de una función racional ( $y=1/x$ )
Eficiencia	Muy alta: no hay resistencia en los sensores	Moderada: las escobillas crean una resistencia que

	hall (en modo sensorless ni siquiera hay sensores)	origina una caída de potencial en las conexiones
Densidad de potencia	Alta: Gracias a mejor características térmicas, debido al bajo rozamiento y mejor disipación térmica, los motores pueden ser más pequeños manteniendo la potencia	Baja: Alta generación de calor y baja disipación térmica obligan a la carcasa a ser de mayor tamaño para poder disipar el calor producido, principalmente por las escobillas.
Inercia del rotor	Baja: los imanes se hallan en el motor	Alta
Rango de velocidad	Alto: no hay limitación por conmutador o escobillas. Limitado por la propia construcción de la carcasa	Baja: limitaciones mecánicas por las escobillas
Ruido eléctrico	Bajo: bajo rozamiento y alta eficiencia	Se generan arcos entre las escobillas que producirán interferencias en los sistemas cercanos. Problemas en el caso de emisoras y receptores
Coste	Muy alto: al tener imanes permanentes el coste es mayor. Además, suelen ser de mejor construcción estructural	Bajo: simplicidad
Controladora	Necesaria: cara y compleja. Se requiere controladora	Simple y barato. No se requiere controladora

Se aprecia, pues, que la elección para conseguir los objetivos de velocidad, potencia y robustez debe de ser el motor Brushless, y se debe intentar minimizar los puntos débiles que la elección de este tipo de motor conlleva, como beneficiarse del obligado uso de una controladora de velocidad (ESC) o justificar el elevado coste con las ganancias en rendimiento.

### 3.2.3.1 Operación de un motor BLDC

Una vez que hemos decidido la utilización de motores brushless tenemos que conocer la operación de los mismos para poder elegir acorde a nuestros objetivos.

Estos motores a veces son referidos como motores de corriente alterna, siendo así porque la aplicación de la corriente se realiza por fases, a través de conmutación. Para entender mejor su funcionamiento en la siguiente figura se representa la esquemática de un motor con 2 polos y 3 fases. El bobinado del estator (a, b y c), cada uno de ellos se encuentra separado a  $120^\circ$  ( $2\pi/3$  radianes) del otro, con  $N_s$  número de vueltas y resistencia  $R_e$ . Cada bobinado genera un campo magnético distribuido trapezoidalmente o sinusoidalmente (representados en la figura como eje a, b y c) y los ejes magnéticos del rotor representados como “eje d” y “eje q”.  $\theta_e$  representa el ángulo entre los distintos ejes magnéticos y  $\omega_e$  la velocidad de rotación entre ellos.

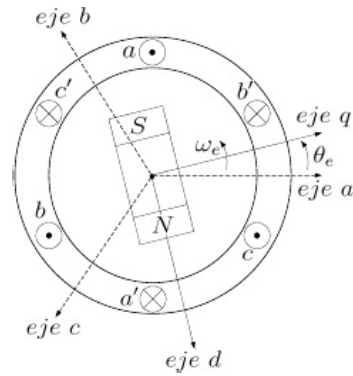


Figura 3-3. Sección transversal de un motor Brushless trifásico [17]

El motor se alimenta de los voltajes trifásicos aplicados a los devanados del estator, estos voltajes crean un campo magnético giratorio con una velocidad angular  $\omega_e$  dada por:

$$\omega_e = 2\pi f \quad (3.1)$$

Donde  $f$  es la frecuencia de los voltajes en Hz.  $\omega_e$  está relacionada con la velocidad angular mecánica  $\omega_m$  con:

$$\omega_e = n_p \omega_m \quad (3.2)$$

Con  $n_p$  como el número de pares de polos. De esta última expresión se puede decir que los motores con pocos pares de polos se utilizan para velocidades elevadas y los que cuentan con muchos pares de polos en aplicaciones de baja velocidad.

Si se desea conocer las revoluciones por minuto (rpm) del rotor  $\eta_m$ , se puede relacionar con el número de pares con la siguiente expresión:

$$\eta_m = \frac{60f}{n_p} \quad (3.3)$$

de aquí se deduce que después del arranque el rotor gira a la velocidad  $\eta_m$ . Esta ecuación (3.3), relaciona la velocidad del rotor con la frecuencia de los voltajes aplicados al estator y el número de pares de polos de la máquina. Esta última ecuación establece la característica fundamental de las máquinas síncronas. En la operación el número de pares de polos no se puede modificar, entonces, para variar la velocidad del rotor sólo hace falta variar la frecuencia de los voltajes aplicados, esto se cumple desde la operación en vacío

hasta la carga máxima admisible por el MB. Si se supera el par de carga máximo el motor pierde el sincronismo.

El siguiente paso sería entender la conmutación que ocurre en un motor BLDC. Viendo la Figura 3-4, la energía eléctrica es convertida en energía mecánica por las fuerzas magnéticas de atracción entre el rotor (imanes permanentes) y el campo magnético rotativo inducido por el bobinado del estator. Cada secuencia de conmutación corresponde a un estado de activación del bobinado, teniendo en cuenta que hay tres fases, en cada fase ("phase"), cada bobinado tiene un voltaje positivo, negativo y neutro (no activado).

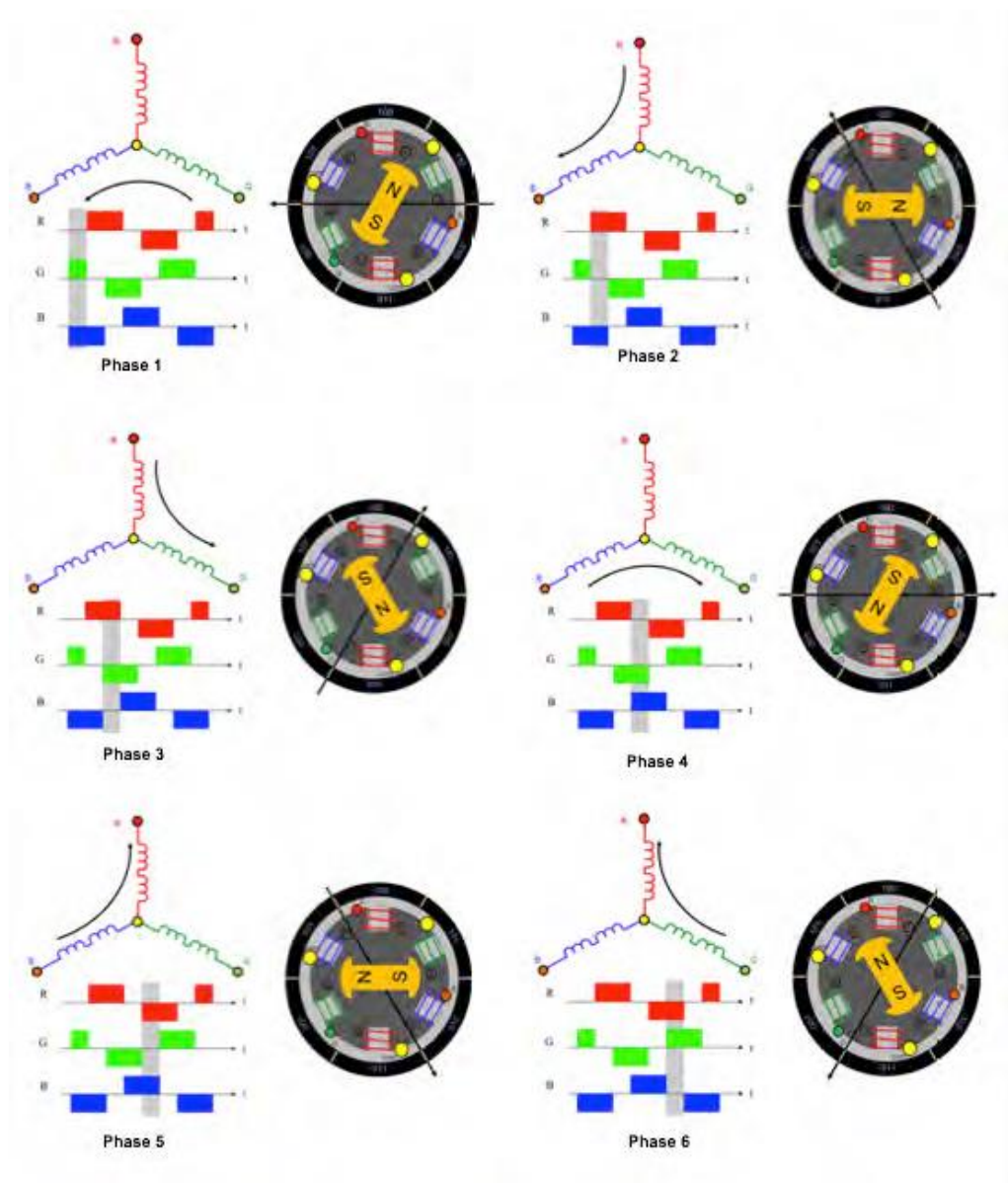


Figura 3-4. Secuencia de conmutación de un motor BLDC [2]

Como podemos ver en la Figura 3-4, para la ESC saber en qué posición se encuentra el rotor es muy importante, ya que debe mandar energía de la manera correcta al estator para producir el mayor par posible en cada momento. En este caso, el rotor viaja 60 grados



eléctricos por fase de conmutación. El flujo de corriente correcto a cada bobinado se aplica cuando el rotor se encuentra a 120° de estar alineado con el correspondiente campo magnético del estator y se desactiva cuando el rotor está a 60° del alineamiento, justo cuando se activa el siguiente circuito.

Como se puede anticipar a mayores RPM la capacidad y simplicidad de realizar la tarea de conmutación será cada vez más compleja. También al realizar el cambio de polaridades existe una pérdida de energía a altas revoluciones, ya que el tiempo de cambio entre fases junto con la eficiencia del sistema de crear un campo magnético a altas velocidades hace que no se consiga el flujo de corriente perfecto para maximizar el par del motor en cada fase. Este fenómeno representa una característica fundamental de los motores BLDC, la relación entre Par y Velocidad que podemos ver en la Figura 3-5. En dicha figura podemos observar 3 parámetros importantes, Par máximo (Peak Torque,  $T_P$ ), Par nominal (Rated Torque,  $T_R$ ) y Velocidad nominal (Rated Speed). Conociendo estos tres factores, podemos crear la mejor aproximación al motor(es) que utilizaremos en el proyecto.

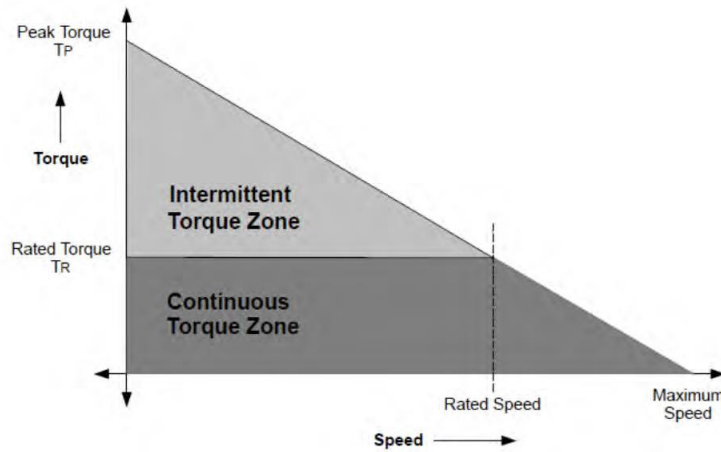


Figura 3-5. Par-Velocidad de un motor BLDC [2]

Como podemos ver en la Figura 3-5, siendo la relación entre par y velocidad, una relación lineal se puede obtener dos de las ecuaciones más representativas de motores BLDC con facilidad a partir de la fórmula de la fuerza de Lorentz para el Par:

$$\omega = k_v * V \quad (3.4)$$

$$M = k_t * I \quad (3.5)$$

Siendo  $\omega$  la velocidad angular y  $k_v$  la constante más importante a la hora de los cálculos que se necesitarán para elegir los motores de manera eficiente y correcta. Se trata de una característica constructiva de los motores Brushless. Se denomina constante de velocidad de motor y representa una constante que relaciona la velocidad angular del rotor frente a la tensión que se aplica al motor.

En el caso de  $k_t$ , se trata de otra constante constructiva y esencial del motor que relaciona el par que aplica el motor con respecto a la intensidad que consume.  $k_t$  depende del número de vueltas del bobinado, la longitud del cable pasante del estator (prácticamente

el tamaño de los imanes del estator), el radio a la cual la fuerza está siendo aplicada al rotor (el radio del hueco de aire), la fuerza de los imanes permanentes del rotor y el número de polos de estator y rotor.

También se conoce que la relación entre  $k_v$  y  $k_t$  es:

$$k_t = 1/k_v \quad (3.6)$$

Por lo tanto, de aquí podemos concluir que un motor con una alta constante de velocidad va a producir un bajo par a una alta velocidad angular y viceversa, esto será de gran utilidad a la hora de elegir los motores del proyecto. También hay que tener en cuenta lo aprendido en la Figura 3-5 ya que si se intentase conseguir un motor con un alto par (baja  $k_v$ ) y el objetivo fuese alcanzar una alta velocidad angular con elevado par aplicando un voltaje nominal alto no se podría conseguir debido a la relación entre Par y velocidad.

### 3.2.3.1 Pérdidas

El motor Brushless trifásico es una máquina eléctrica que convierte la potencia eléctrica suministrada en los devanados del estator en potencia mecánica aplicada en el eje del rotor. En este proceso de conversión se presentan pérdidas de potencia:

#### 1. Potencia eléctrica de entrada:

Es la potencia suministrada en los devanados del estator y está dada por la ecuación (2.46). Esta potencia de entrada no depende del tipo de conexión del motor ( $\Delta$  ó  $Y$ ):

$$P = 3V_\phi I_\phi \cos \varphi = \sqrt{3}V_L I_L \cos \varphi \quad (3.7)$$

Donde  $V_\phi$  e  $I_\phi$  son el voltaje y a corriente por fase del motor, respectivamente.  $V_L$  e  $I_L$  son el voltaje y corriente línea, respectivamente.  $\varphi$  es el ángulo cuyo coseno es el factor de potencia. En conexiones en estrella ( $Y$ ) se tiene que  $I_\phi = I_L$  y que  $V_L = \sqrt{3}V_\phi$ . Por otro lado, en conexiones en triángulo ( $\Delta$ ) se tiene que  $V_L = V_\phi$  y  $I_L = \sqrt{3}I_\phi$ .

#### 2. Pérdida de potencia en la resistencia:

Dicha pérdida de potencia se produce por las resistencias de los devanados del bobinado en el estator en forma de calor y están dadas por la siguiente ecuación:

$$P_R = 3|I_a|^2 R_a \quad (3.8)$$

#### 3. Pérdida de potencia en el núcleo:

Esta pérdida se ocasiona por histéresis y por corrientes parásitas en el metal del motor. Como una primera aproximación se considera cero.

#### 4. Potencia electromagnética:

Esta potencia se considera la potencia que se transforma de eléctrica a mecánica. Se consigue al restar la pérdida de potencia en la resistencia y la pérdida de potencia en el núcleo a la potencia eléctrica de entrada.

#### 5. Pérdida de potencia mecánica:

Se relaciona con la fricción entre las partes móviles del motor y la fricción aerodinámica del rotor.

#### 6. Potencia de salida:

Se trata de la resultante final al restar el conjunto de todas las pérdidas a la potencia de entrada. La Figura 3-6 muestra el flujo de potencia de un motor brushless:

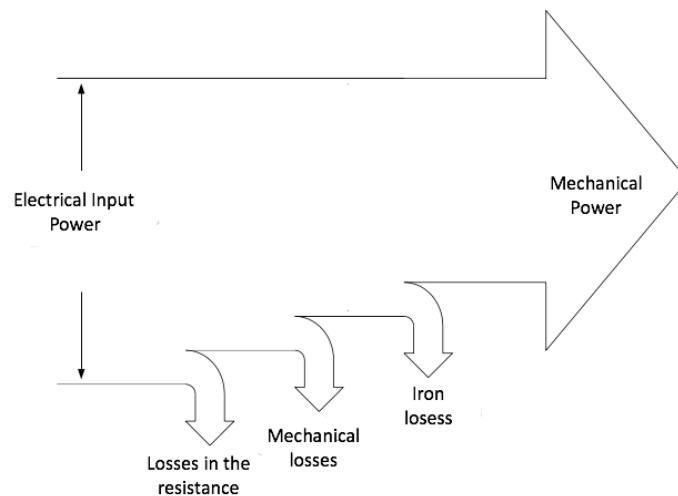


Figura 3-6. Representación de pérdidas en un motor brushless [17]

#### 3.2.3.2 Sensor/Sensorless y Outrunner/inrunner

Dentro de los motores brushless tenemos distintos modelos con distintas características, la primera diferenciación viene con el posicionamiento del rotor. Tenemos dos tipos, motores con rotor en la carcasa (outrunner) y motores con el rotor dentro del eje (inrunner), siendo estos últimos los más convencionales a la hora de hablar de motores CC y motores brushless de gran escala. En la siguiente figura podemos ver una representación de ambos tipos.

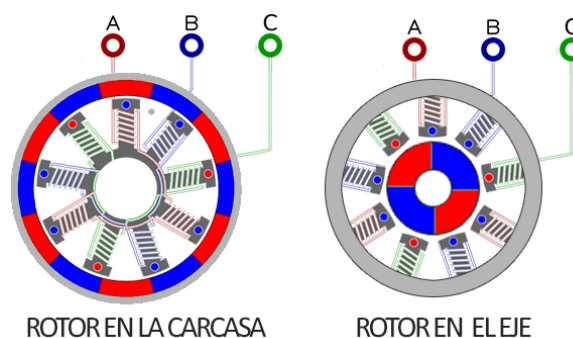


Figura 3-7. Esquema de motores brushless outrunner e inrunner [2]

Las diferencias son las siguientes:

- Mayor par en motores outrunner
- Frecuencia de conmutación más alta en motores outrunner
- Velocidades (rpm) mayores en motores inrunner
- Mismo número de fases, 3, pero mayor número de dientes por fase.
- Mayor diámetro de rodamientos en outrunner, pueden ser mucho más resistentes. En el caso de inrunner, los rodamientos están limitados por el tamaño del eje y el bobinado (estator)
- Los motores inrunner son más seguros ya que solo gira el eje central y no toda la carcasa

Por lo tanto, debido a que la velocidad máxima es menor en los outrunner, la necesidad de reducir dicha velocidad con la transmisión será menor y por lo tanto las poleas de menor diámetro, y que el par es mayor que en los inrunner la elección debería ser un modelo con el rotor en la carcasa. Y también un motivo importante, entre los modelos a elegir, ningún inrunner se ajusta a las necesidades del proyecto, ya que para conseguir el par necesario haría falta que el motor fuese demasiado grande.

La siguiente decisión a tomar será entre motores con sensores hall o motores sensorless. La finalidad de dichos sensores es informar a la controladora de velocidad, ESC, en qué posición se encuentra el rotor frente al estator y, aunque se puede controlar un motor sin sensores hall, sensorless, con la mayoría de ESCs, siendo, de hecho, más baratos los sistemas, ajustar la polaridad del bobinado acordemente y provocar un arranque desde parado suave y con un alto par. Como se indicó en la tabla sobre lecciones aprendidas del prototipo V1, el arranque desde parado fue un problema de dicho prototipo por la brusquedad de este por lo que en el prototipo V2 se utilizarán motores con sensores hall.

### 3.2.3.3 Elección final

Resumiendo lo anteriormente estudiado, la elección en cuanto a motor será una pareja de motores Brushless con sensores hall outrunner. Ahora se necesita conocer la potencia mínima necesaria, así como las constantes de velocidad del motor que se han estudiado en el apartado anterior. Para ello se proponen varias fórmulas relacionadas con los objetivos establecidos al principio de este mismo capítulo en la Tabla 3-1.

Para calcular la constante de velocidad necesaria del motor establecemos la velocidad máxima ( $V_{\max}$ ) igual a 45km/h, y la batería a utilizar, por motivos de limitación de los sistemas del mercado, será una batería 10S, con una tensión nominal de 36V. El diámetro de las ruedas motrices se definió como 97mm en apartados anteriores. En la siguiente ecuación calculamos las revoluciones por minuto máximas del motor:

$$RPM_{motor\ max} = k_v * V \quad (3.9)$$

La relación entre las revoluciones de las ruedas motrices con las revoluciones del motor viene dada por la relación de transmisión de las poleas:

$$RPM_{rueda\ max} = RPM_{motor\ max} * \frac{n_{polea\ motriz}}{n_{polea\ conducida}} \quad (3.10)$$

Y, finalmente, la velocidad máxima es:

$$v_{max}(km/h) = RPM_{rueda\ max} \left( \frac{rev}{min} \right) * 2\pi R \left( \frac{m}{rev} \right) * \frac{60min}{1h} * \frac{1km}{1000m} \quad (3.11)$$

Siendo R en metros y el resto de variables en las unidades establecidas

Por lo tanto, el cálculo de  $k_v$  queda de la siguiente manera:

$$k_v = \frac{v_{max} \left( \frac{km}{h} \right) * n_{polea\ conducida} * 1000}{V * n_{polea\ motriz} * 2\pi R \left( \frac{m}{rev} \right) * 60} \quad (3.12)$$

Estableciendo los valores de  $v_{max} = 45 \frac{km}{h}$ ,  $V = 36V$  y  $R = 0.0485m$ .

En cuanto a los valores de  $n_{polea\ conducida}$  y  $n_{polea\ motriz}$  se puede ver en la siguiente figura la relación entre velocidad (speed), corriente (current) y eficiencia (efficiency), por lo que hay que optimizar el factor de conversión de la transmisión entre 2:1 y 3:1.

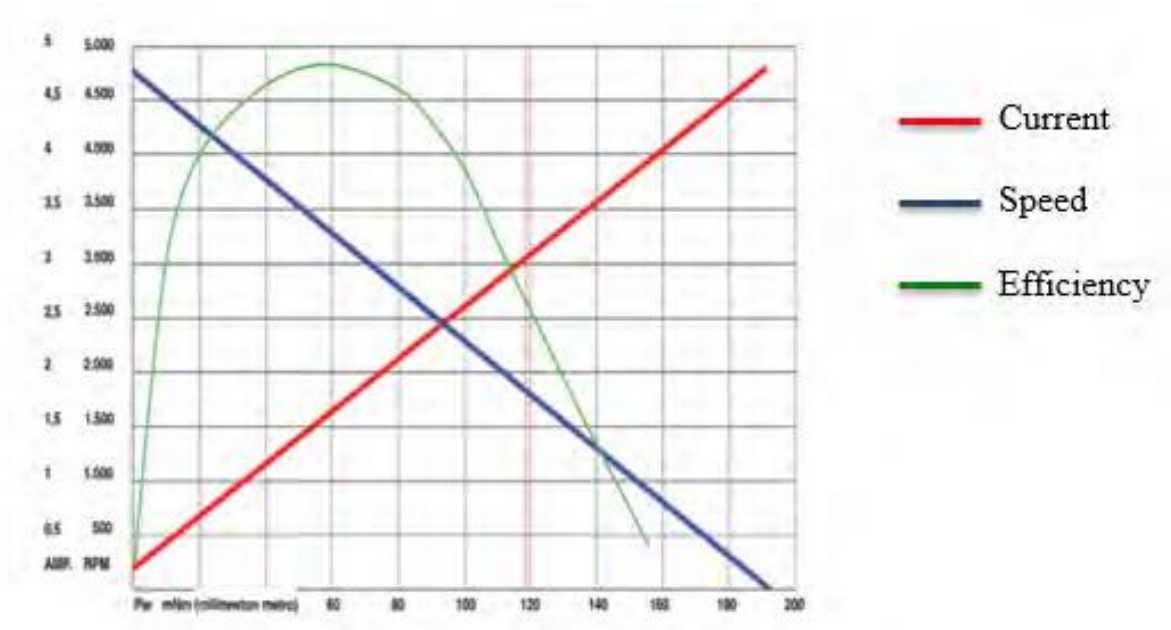


Figura 3-8. Corriente, velocidad y eficiencia [2]

Por lo tanto, los valores de  $n_{polea\ conducida}$  y  $n_{polea\ motriz}$  tendrán que encontrarse entre los siguientes límites. También establecidos por el tamaño de las ruedas y el espacio en la zona del eje de la tabla y diseño de los propios engranajes, siendo el tipo de las poleas utilizadas para este estudio del tipo HTD5:

$$12T < n_{polea\ motriz} < 16T \quad (3.13)$$

$$34T < n_{polea\ conducida} < 38T \quad (3.14)$$

Por lo que, como se estimaba, habrá distintas combinaciones que consigan los objetivos necesarios, por lo que será necesario iterar para conseguir las combinaciones que más se ajusten a las necesidades y luego tener opciones a la hora de buscar los componentes necesarios. Estos han sido los resultados y se encuentran representados en la siguiente tabla:

*Tabla 3-3. Iteraciones relación transmisión - kv*

Opción	$\frac{n_{\text{polea motriz}}}{n_{\text{polea conducida}}}$	$k_v$
1	$\frac{16T}{36T}$	153.81
2	$\frac{14T}{36T} = \frac{16T}{38T}$	175.79
3	$\frac{12T}{36T} = \frac{14T}{38T}$	185.56
4	$\frac{12T}{38T}$	216.49

Utilizaremos los datos obtenidos en el capítulo 4, Prototipo V2.

### 3.2.4 ESC

Un controlador de motores (o electronic speed controller en inglés, ESC) también se conoce como variador de velocidad de motores brushless. Los variadores, en resumen, son controladores de Modulación por Ancho de Puntos (PWM) para controlar motores eléctricos. La ESC se conecta a una batería de corriente continua y convierte la señal de entrada en una corriente de tres fases para el motor. Para conseguir la conversión de CC a CA, los variadores tienen integrados en sus circuitos transistores de efecto de cambio (FET). En la siguiente imagen se muestra una esquemática de la conexión de la batería, la ESC y el motor [2].

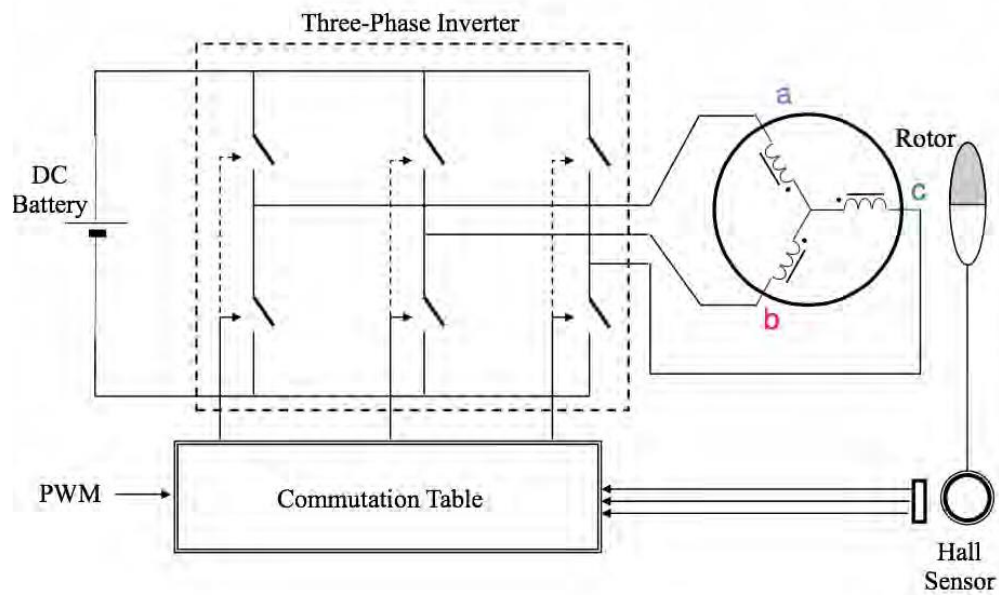


Figura 3-9. Esquemática de conexión de una ESC [7]

Para un mejor entendimiento del funcionamiento, en la Figura 3-10 se muestran las 6 distintas fases y los posibles circuitos que se pueden encontrar en un inversor de tres fases:

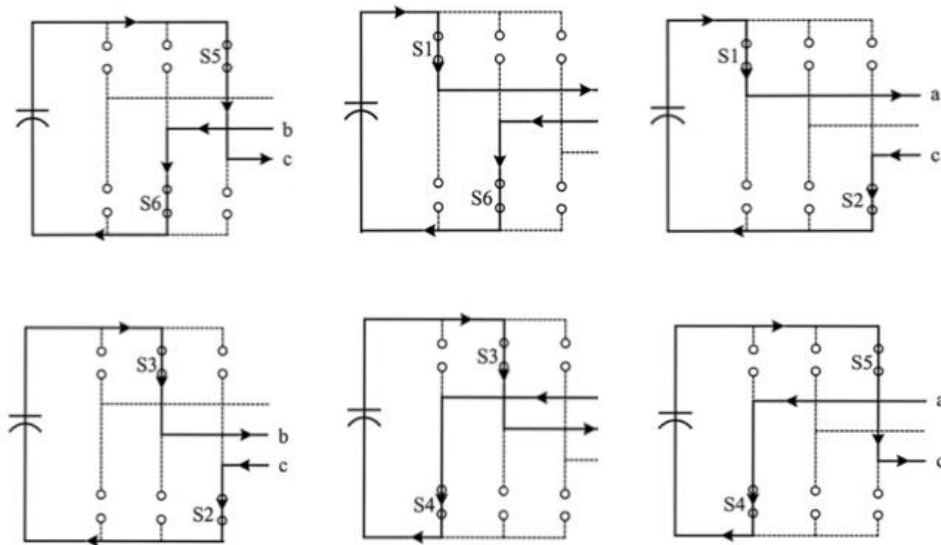


Figura 3-10. Fases de funcionamiento de una ESC (Microchip Technology Inc., 2003)

En la siguiente tabla se puede ver el estado de los sensores Hall, los mosfets (transistores) de la Figura 3-10 (S1-S6) y la corriente que se emite al motor.

Tabla 3-4. Secuencia del funcionamiento de una ESC (Microchip Technology Inc., 2003)

Switching Interval	Seq. Number	Pos. sensors			Switch Closed		Phase Current		
		H1	H2	H3			a	b	c
0° - 60°	0	1	0	0	S1	S4	+	-	off
60° - 120°	1	1	1	0	S1	S6	+	off	-
120° - 180°	2	0	1	0	S3	S6	off	+	-
180° - 240°	3	0	1	1	S3	S2	-	+	off
240° - 300°	4	0	0	1	S5	S2	-	off	+
300° - 360°	5	1	0	1	S5	S4	off	-	+

La Figura 3-11 grafica los valores interpretados de la Tabla 3-4. Secuencia del funcionamiento de una ESC) y representa las fases del funcionamiento de una ESC vistas en la Figura 3-10. Fases de funcionamiento de una ESC

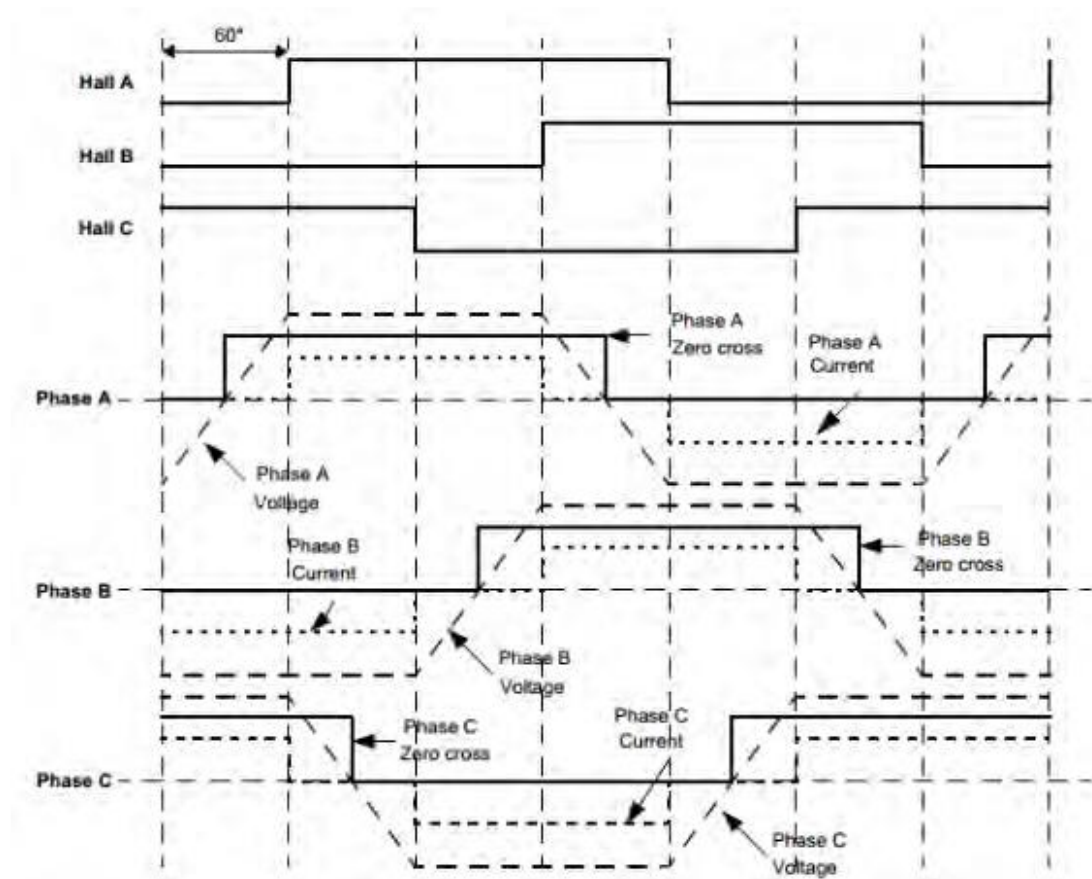


Figura 3-11. Sensores Hall, back-emf y corriente de una ESC (Microchip Technology Inc., 2003)

Lo anteriormente mostrado representa el funcionamiento de un variador con sensores Hall de posicionamiento, pero también existen ESCs que pueden ser conectadas a motores Brushless sin sensores (sensorless). En el caso de la determinación de la posición para motores sensorless los variadores para motores brushless crean una corriente alterna trifásica a partir de corriente continua proveniente de la batería. Es aquí donde entra en escena los 3 cables que llevan los variadores para motores sin escobillas. Uno de los polos genera un pequeño voltaje proporcional a la velocidad de giro del motor conocido como



fuerza electromotriz. Este voltaje le sirve al ESC para determinar como de rápido y en qué dirección gira el motor en cualquier momento. Con esta información el ESC es capaz de averiguar como manda la corriente a los electroimanes del motor para que este gire [2].

#### **3.2.4.1 VESC**

En el campo de los longboards eléctricos hay un tipo de ESC específica desarrollada por Benjamin Vedder, un desarrollador de robótica sueco, llamada VESC, se trata de una controladora con software y hardware libre que realiza muchas más funciones de las que normalmente realiza un variador de un coche o avión de RC. En el momento en el que Vedder publicó los archivos de la esquemática de los componentes y el software del VESC (disponible en los anexos de este documento) a finales de 2014 el avance en el mundo de los vehículos unipersonales eléctrico fue enorme, llegando a hacer evolucionar todas las compañías de dichos vehículos que existían en el momento y creando una alta cantidad de pequeñas empresas dedicadas a longboards eléctricos y, en general, vehículos eléctricos unipersonales.

Las características principales, y que las separan del resto de ESCs convencionales son las siguientes [20]:

- Voltaje permitido: 8V – 60V (Desde 3S hasta 12S LiPo-Lion)
- Límite amperaje: Hasta 240A de pico y 50A continuo. (Puede aumentar en nuevos modelos y versiones más modernas)
- FOC (Field oriented control, control con orientación de campo, se explica más a fondo en el siguiente apartado) con o sin sensores hall de posición
- Voltaje y amperaje monitorizado en todas las fases
- Frenada regenerativa selectiva, limitando la carga del motor de forma deseada
- Control incluido para motores CC
- Operación de motores brushless en modo con sensores y sin sensores
- Frecuencia PWM adaptativa.
- basadas en RPM
- Mejora notable de par en modo sin sensores. Por supuesto en modo con sensores el par es mucho mayor, pero también mejora respecto a ESCs convencionales
- Uso de tacómetro
- Interfaz de control del motor: señal PPM (RC servo), analógico, UART, I2C, USB o CAN-bus.
- Registro de múltiples variables, entre ellas consumo y generación de corriente y potencia.
- Programación por puerto USB desde distintos dispositivos
- Protección ajustable contra
  - Voltaje de entrada bajo
  - Voltaje de entrada alto
  - Alto amperaje hacia el motor

- Alto amperaje desde el motor
- Corriente de regeneración desde el motor
- Rápido cambio entre ciclos de trabajo
- Altas RPM
- Perfecta conmutación entre fases incluso cuando la velocidad del motor cambia repentinamente. Esto se debe a que el flujo magnético se integra y no se retrasa basado en la anterior velocidad
- Cuando el motor está rotando y el controlador no está ordenando acelerar, las conmutaciones y la dirección se registran. El ciclo de trabajo se calcula para obtener la misma velocidad. Esto es así para que la aceleración cuando el motor ya está girando sea suave
- Todo el hardware está preparado para funcionamiento FOC

Por todos estos motivos, la elección para nuestro proyecto serán dos VESC, tendremos que buscar las que mejor se ajusten a los motores que se elijan finalmente. Todo esto vendrá en el capítulo 4, prototipado.

### 3.2.4.2 Tipos de control de motor: FOC vs BLDC

Control orientado por campo (FOC, en inglés Field oriented control) es el método de control de máquinas de corriente alterna más establecido entre fabricantes de vehículos eléctricos de alta gama, se trata de un método más refinado de conmutación de BLDC. FOC directamente controla el par produciendo corriente. El algoritmo en diagrama de bloques se ve representado en la siguiente figura.

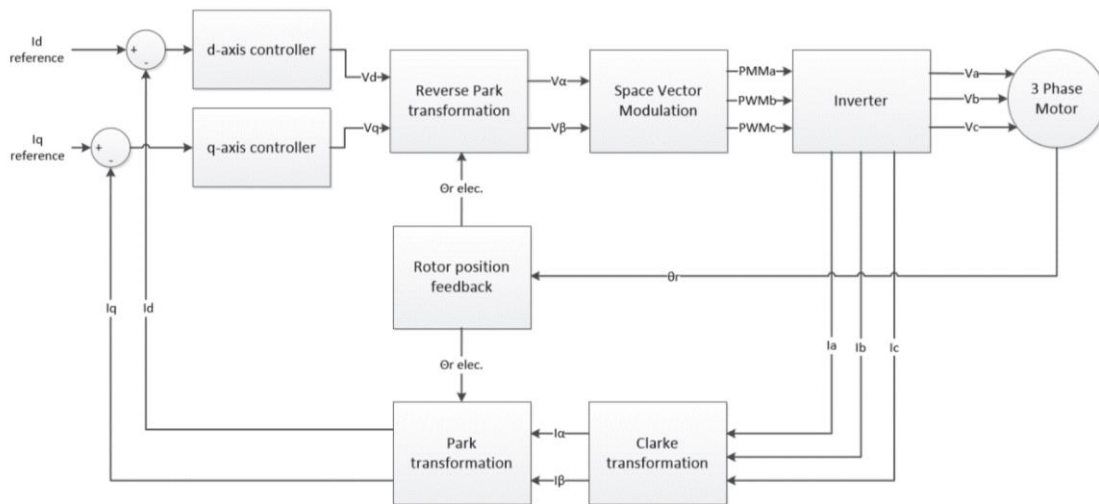


Figura 3-12. Diagrama de bloques para técnica de conmutación FOC [17]

Para entender mejor las diferencias entre los dos métodos de conmutación vamos a comparar las señales de corriente que envían al motor. En las siguientes figuras se puede observar cómo cambian las señales entre fases de diferente manera entre métodos de conmutación. BLDC (Figura 3-13) hace cambios ON-OFF de las corrientes en el bobinado en el cambio entre fases, mientras FOC suaviza el cambio manteniendo el par

que el motor desarrolla. En la Figura 3-14 se observa como la conmutación trapezoidal suaviza el cambio de corriente entre el bobinado de manera lineal entre corriente positiva y negativa para suavizar el par producido por el motor. En la Figura 3-15 se puede ver un método parecido de conseguir el mismo resultado, conmutación sinusoidal FOC, consiguiendo menor par máximo pero un valor plano a lo largo del movimiento del motor.

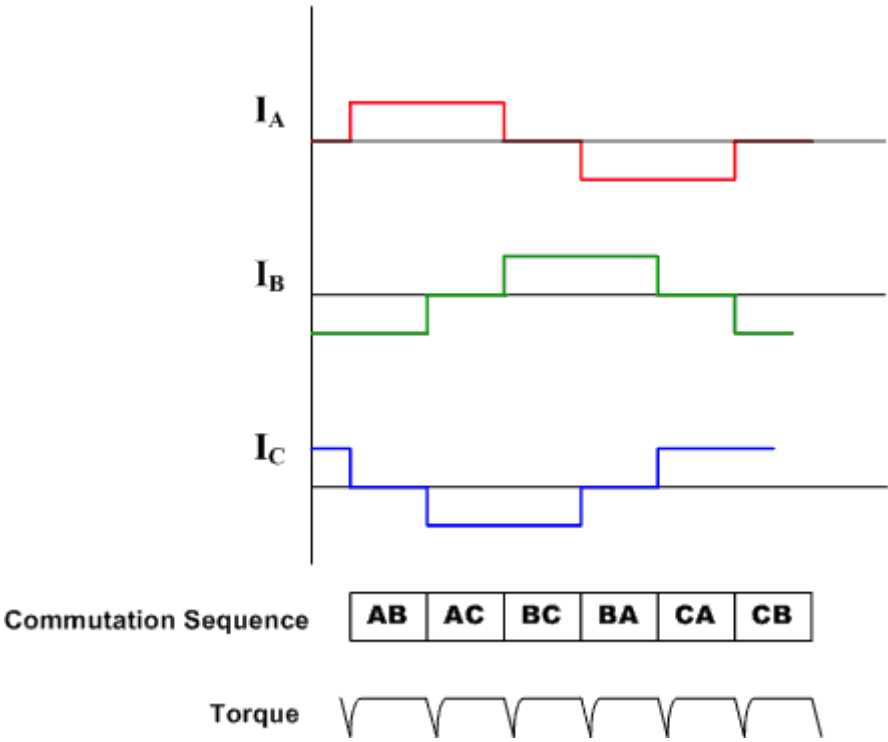


Figura 3-13. Conmutación BLDC [2]

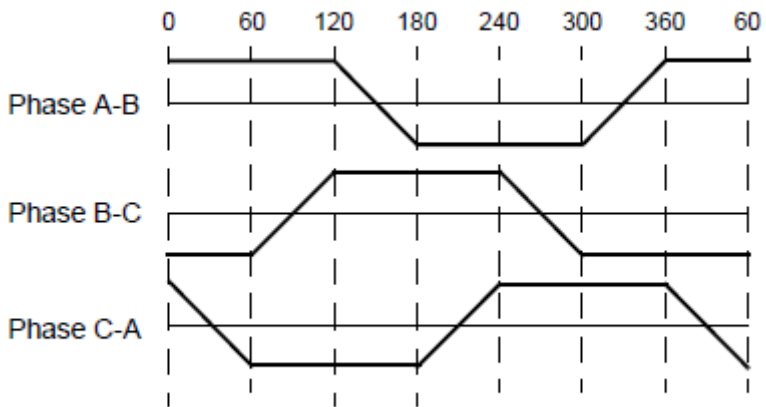


Figura 3-14. Conmutación FOC trapezoidal [2]

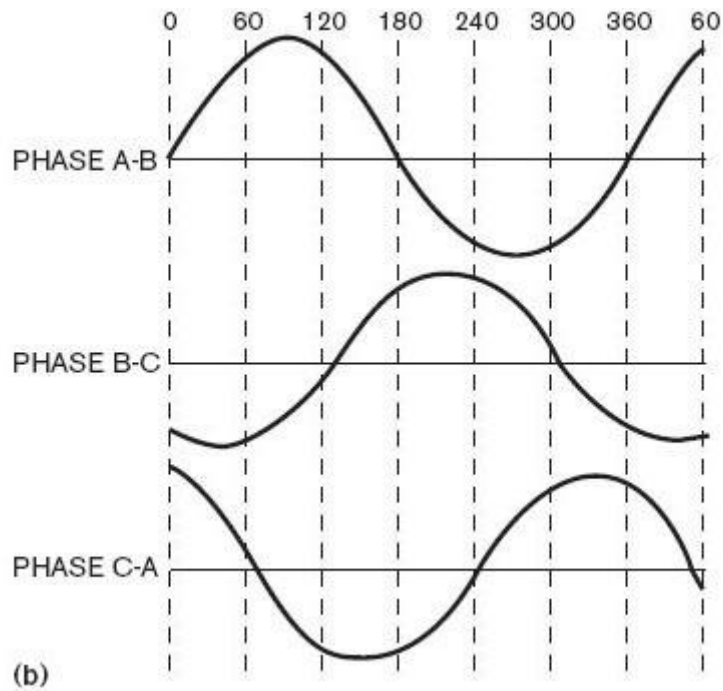


Figura 3-15. Conmutación FOC sinusoidal [2]

### 3.2.5 Baterías

Como se estudió en el apartado 2.3 y en se representó en la Tabla 2-2 las baterías de Litio serían las adecuadas para el proyecto, haciendo de ellas unas baterías densas, con baja memoria y capaces de descargarse a una alta velocidad. Especialmente en el momento de realización de este proyecto las baterías Li-on se han vuelto mucho más accesibles y baratas que en el momento de la realización del prototipo V1, por lo que, siendo la mejor elección según lo representado en la Tabla 2-2 serán las baterías elegidas.

#### 3.2.5.1 Baterías de iones de litio

Las baterías Li-on se componen de un ánodo de grafito y un cátodo de óxido de cobalto, trifilina ( $\text{LiFePO}_4$ ) u óxido de manganeso. En el electrolito líquido hay iones de lítico que serán los encargados de aportar energía. Apenas sufre efecto memoria, consiguen altas densidades de energía, se pueden cargar sin necesidad de estar totalmente descargadas y sin reducción de su vida útil. La temperatura es un punto flaco, ya que a altas temperaturas comienzan a perder eficiencia. No toleran bien las descargas completas y sufren daños. En la siguiente figura se representa la estructura de una batería de iones de litio y el proceso químico de descarga de esta [8].

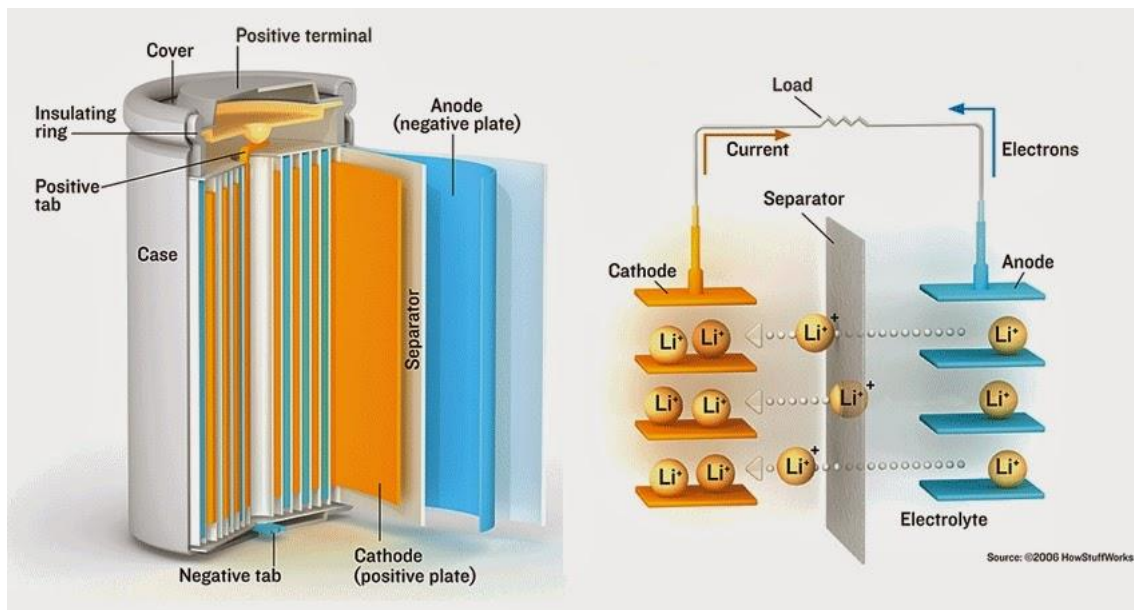


Figura 3-16. Estructura y química de una batería Li-on (Howstuffworks, 2006)

A continuación, se propone, de manera más específica que en el apartado de realización del prototipo V1, las principales ventajas y desventajas de las baterías de iones de litio [8]:

- Alta densidad de carga.
- Índice de auto descarga relativamente bajo (5% - 10% por mes).
- No necesita una carga prolongada cuando son nuevas.
- No requieren tanto mantenimiento como otras baterías, no necesitan descargas periódicas ya que no presentan efecto memoria.
- No presenta la sulfatación que se produce en las baterías ácido-plomo cuando estas se almacenan sin carga periódica.
- Menor generación de impacto en el medio ambiente.

Las desventajas son las siguientes:

- Requieren protección: las células de ion litio no son tan robustas como otras tecnologías recargables. Y tienen que tener un sistema de protección frente a sobrecargas y sobredescargas, temperatura y golpes.
- Envejecimiento: las baterías de ion litio están sujetas a envejecimiento por diversos motivos. Un exceso de temperatura, un elevado número de cargas y descargas provoca este degradado, pero también lo provoca (y en esto se diferencian de otros tipos de baterías) estar almacenadas con mucha carga durante largos periodos de tiempo. Para reducir ese envejecimiento durante el almacenamiento se recomienda almacenar las baterías parcialmente cargadas entre 40% y 50% y por debajo de 20°C.
- Precio: las baterías de ion litio tienen un coste de fabricación más elevado que otras baterías, por ejemplo, alrededor de un 40% más que las de níquel cadmio.

- Transporte: las baterías de este tipo tienen ciertas limitaciones cuando hay que transportarlas sobre todo por vía aérea. Estas limitaciones vienen determinadas por la capacidad de la batería.
- Peligrosidad - Rapid disassembly: es uno de los problemas en los que más se trabaja por evitar. Se puede dar por la presencia de partículas metálicas microscópicas que llegan a cortocircuitar la célula, pero esta causa es cada vez más rara ya que los fabricantes de baterías se esfuerzan por la eliminación de tales partículas, aunque la eliminación total es imposible. El verdadero problema está cuando el cortocircuito ocurre dentro de la célula, ahí las protecciones externas son ineficaces para parar la reacción que se produce. Si debido a un defecto en la batería o a un mal uso de esta la batería se calienta en exceso, esta temperatura puede afectar a la integridad de la capa de aislamiento de una de las células. Si esta capa falla se produce un cortocircuito y las temperaturas pueden llegar a 500°C por lo que la célula se incendia o explota y esto a su vez afecta a las células cercanas, originando una reacción en cadena.

Por todos estos motivos la elección serán baterías Li-on, pero teniendo en cuenta las desventajas e intentando mitigarlas de la mejor forma posible, en cuanto a la protección y la peligrosidad, los dos mayores inconvenientes de este tipo de baterías serán mitigadas con protección anticorrosiva y principalmente con un encapsulado que evite golpes hacia las células y las proteja. Para evitar la problemática de carga y descarga se utilizará un sistema de gestión específico, explicado a continuación.

### **3.2.5.2 BMS**

Como se ha comentado anteriormente la carga y descarga de las baterías es el momento más crítico de las mismas, siendo crucial la estabilización de las distintas células en ambos procesos. En la descarga la batería habilita la descarga simultánea de todas las células, dejando el mayor problema en manos de la carga de la batería. En el siguiente gráfico se muestran las características de carga de baterías de iones de Litio.

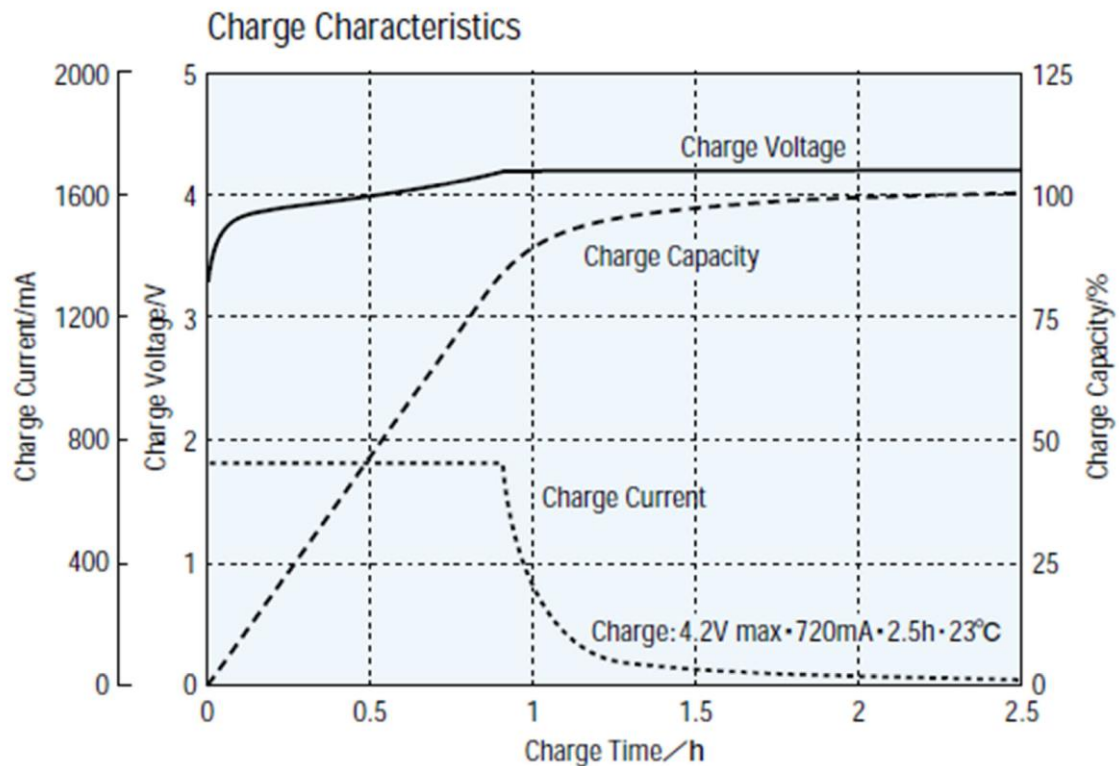


Figura 3-17. Características de carga de baterías de iones de Litio [21]

Este proceso ocurre de la manera representada porque la última parte se encarga de balancear las células de las baterías, es decir, igualar la tensión de todas las células de la batería hasta, exactamente, 4.2V máximo.

Ya que la carga y la descarga se tratan de unas tareas tan cruciales, se puede optar por el uso de un dispositivo de control permanente de batería, comprobando en todo momento la tensión de las células y balanceando las mismas tanto en carga como en descarga, manteniendo la seguridad del paquete de células al mayor nivel. Este dispositivo se conoce como BMS (Battery management system, sistema de administración de batería). El BMS se conecta a las células por un lado y a la ESC por el otro y su función esencial es equilibrar la tensión dentro de las celdas.

Además de equilibrar las celdas, un BMS:

- Evitará la sub-tensión en las celdas desconectando la carga cuando sea necesario.
- Evitará la sobretensión en las celdas reduciendo la corriente de carga o deteniendo el proceso de carga.
- Desconectará el sistema en caso de sobrecalentamiento.

Por lo tanto, un BMS es indispensable para evitar que se produzcan daños en banco de baterías Li-Ion de gran tamaño.

### 3.2.5.3 Configuración baterías

Para conseguir la autonomía deseada de 30km la batería debería tener la suficiente capacidad, teniendo en cuenta que tendrá que ser un conjunto de 10S, 10 células en paralelo, ahora hay que determinar el número de células en paralelo. Para determinar la capacidad del conjunto de celdas de la batería habría que suponer eficiencias de motores, baterías, ESCs, transmisiones, superficie del piloto junto con la tabla y resistencia aerodinámica, resistencia a la rodadura de las ruedas y distintos parámetros que harían que el cálculo estuviese completamente supuesto desde un principio, por lo que el acercamiento a esta decisión se hace con un método empírico, basándose en la experiencia ganada por parte del prototipo V1 y las capacidades de las baterías de los modelos que actualmente existen en el mercado.

En el caso del prototipo V1 la autonomía era de 15km con un pack de baterías LiPo de 5800mAh, siendo este tipo de baterías diferente en cuanto al gasto de la capacidad que poseen no pueden ser completamente relacionadas, pero sirve como base empírica personal de cálculo. Después podemos relacionar las capacidades de las baterías de los modelos estudiados en la Tabla 2-1 de los cuales se conoce el tipo de batería y su capacidad:

Tabla 3-5. Capacidad vs autonomía

Modelos	Prototipo V1	Boosted boards- Boosted stealth	Boosted boards- Boosted V1 dual+	Boosted boards- Boosted V2 dual +	Enertion Raptor 2
Batería	LiPo	Li-on 12s2p celdas 18650	Li-on 12s1p celdas LiFePO4 A123	Li-on 12s2p celdas 18650	Li-on 12s4p células 18650
Capacidad (mAh)	5800	≈ 6400	≈ 2900	≈ 6400	≈12800
Autonomía (km)	15	22.5	11.2	22.5	40
Ratio Capacidad / autonomía (mAh/km)	386.66	284.41	258.93	284.41	320

Para poder estimar la capacidad necesaria para el sistema de este proyecto vamos a tener que considerar un cierto margen de error por parte de las mediciones de autonomía por



parte de los fabricantes, ya que siempre se consideran condiciones ideales para la medición del kilometraje que permite hacer un vehículo con una determinada cantidad de energía. Por consiguiente, consideraremos el ratio para nuestro cálculo de 330mAh/km, si la autonomía deseada es de 30km, este ratio establecería una capacidad del pack de baterías de 9900mAh. Finalmente, la configuración que se utilizará será 10S3P, 3 conjuntos en paralelo de 10 celdas cada uno.

### **3.2.6 Periféricos**

Por último, se estudia el conjunto de componentes que necesitará el proyecto, empezando por la controladora.

#### **3.2.6.1 TX y RX**

Para enviar las señales de aceleración, frenada y, en el futuro, encender y apagar luces junto con lectura de la capacidad restante en la batería, se necesita un emisor y receptor que envíe a las ESCs las señales PWM (pulse width modulation), señales de 5V que varían dependiendo de la interacción del piloto con el mando. Por simplicidad y coste se ha elegido continuar con la misma tecnología que en el prototipo V1 ya que no ocasionó ningún tipo de problemas, radio a 2.4Ghz, aunque esta vez se debe reducir el tamaño del controlador y el receptor con el fin de reducir el volumen del sistema electrónico y mejorar la ergonomía.

#### **3.2.6.2 Futuro uso de bluetooth**

En el caso de la conectividad con las VESC, la opción más polivalente, con mejores beneficios colaterales sería la conexión por Bluetooth, ya que nos permitiría no solo enviar las señales de aceleración, frenada y el resto que se comentaba en el anterior apartado, sino que nos garantizaría una manera de enviar los datos obtenidos de las VESC, ya sea potencia instantánea, cualquier tipo de error posible, velocidad de los motores (para comprobar que la velocidad a la que avanza la conmutación se corresponde con la real o saltos de conmutación) o cualquier otro tipo de información relevante que se puede obtener pero que sin la comunicación bluetooth solo podría ser por cable.

Cabe mencionar que las VESC también se pueden elegir con la capacidad de almacenar datos de ciertos periodos o recorridos para luego poder ser analizados a posteriori, por lo que en el caso anteriormente mencionado no sería completamente necesaria la obtención de toda esa información si se dispone a estudiar los mismos a posteriori, sería verdaderamente útil para ver dicha información en marcha.

También se podrían implementar en el futuro opciones de conectividad como localización del longboard eléctrico o algún tipo de alarma, todas estas opciones serán estudiadas en el futuro como opciones de mejora del sistema.

### **3.2.6.3 BEC**

Para el prototipo V2, con el fin de optimizar los componentes, el presupuesto y el espacio, la corriente necesaria para los periféricos vendrá desde la batería principal a través de una de las ESCs, por lo tanto, se necesitará que estas dispongan de BEC integrado.

### **3.2.6.4 Interruptor y conexiones**

Uno de los problemas a los que el prototipo V1 se enfrentó fueron los arcos que se producían tras la conexión de las baterías al sistema, para esto se utiliza un interruptor especial, llamado Anti-spark switch, que consigue evitar dicho efecto y reduce la peligrosidad electrónica del sistema.

En el caso de las conexiones y los cables se deberán utilizar aquellos que reduzcan al máximo la resistencia y cuya efectividad sea máxima, de tal manera aseguraremos que más potencia que sale de las baterías se transmite al suelo.

## 4. PROTOTIPO

En este capítulo se trata la elección de componentes del prototipo V2, así como la fabricación y configuración de este. La elección de estos tendrá lugar de la misma manera que se han tratado los pasados capítulos, siguiendo la pirámide de elección de componentes.

### 4.1 Tabla y ruedas

La elección de la tabla, siguiendo las pautas que se establecen en el apartado 3.2.2 (Estructura principal y base del sistema), será la misma que la utilizada en el prototipo V1 por su flexibilidad, material de fabricación, tamaño y calidad óptimos para el proyecto, sin olvidar que al reutilizarla se amortiza en otros proyectos. La tabla es una Globe Big pinner de 44", con 82cm entre ejes, de bambú. Los ejes y ruedas originales no serán reutilizados.



*Figura 4-1. Globe Big pinner 44" (Globe, 2014)*

Las ruedas, junto con los ejes, serán de 97mm, como es estableció en el capítulo anterior. Para los ejes se utilizarán unos ejes de 215mm. El conjunto viene de la marca Torque boards, es un kit específico para Longboards eléctricos que hace que los soportes puedan

ser fijados al eje con precisión y agiliza el trabajo. Además, al mantener todos los componentes de sujeción de motor y transmisión en un mismo pack, el precio se reduce.



Figura 4-2. Kit de ejes, ruedas, soporte de motores y transmisión de Torque boards [8]

En la Figura anterior podemos observar que se vende todo el kit completo, por lo que la elección de motor debe restringir las opciones en cuanto al kit.

#### 4.1 Motor y transmisión

Para la elección de motores primero se debe elegir una configuración desde la Tabla 3-3. Iteraciones relación transmisión - kv) considerando las opciones que ofrece el kit anteriormente elegido de Torque Boards. La elección será la 3:

Tabla 4-1. Elección final para motor y relación de transmisión

Opción	$\frac{n_{\text{polea motriz}}}{n_{\text{polea conducida}}}$	$k_v$
3	$\frac{14T}{38T}$	185.56

Por lo tanto, el motor que elegiremos será un motor de 190kv, siendo el estándar de la industria más cercano a los cálculos teóricos, permitiendo un poco de seguridad a la hora de conseguir el objetivo de velocidad máxima. En cuanto a la elección de motor, y teniendo en cuenta todos los parámetros elegidos en el apartado 3.2.3(Motor), serán dos ejemplares específicos para longboards eléctricos, con mejor resistencia axial en los rodamientos, protección contra agua y polvo y sensores hall integrados. Se trata de un Torque boards motor 6374 de 190kv con 3150 vatios máximos por motor (con 12s y

80A) y máximo par de 3.57Nm (12s y 80A) de 0.87kg. 6374 establece el tamaño del mismo, siendo 63mm de diámetro y 74mm de alto, sin contar el eje motriz.



Figura 4-3. Motor 6374 190kv de Torque boards [8]

#### 4.1 VESC

Para la elección de la VESC, siguiendo los parámetros del capítulo 3.2.4(ESC), se han elegido dos FOCBOX motor controller de Enertion, específicamente fabricadas para longboards eléctricos de la mano de Enertion, la compañía que fabrica el mejor longboard de los estudiados en la Tabla 2-1. Tabla comparativa de modelos en el mercado). La elección de esta VESC se debe a su robustez, capacidad de disipación de calor, componentes fabricados para resistir hasta 50V, así como una amplia capacidad de configuración basada en la VESC original de Vedder, manteniendo todas las ventajas que la original posee.



Figura 4-4. FOCBOX de Enertion [10]

## 4.1 Batería

El siguiente componente a elegir será el pack de baterías, para ello se opta por el formato 18650(18mm de diámetro y 65 de alto), ya que se trata de las células con mayor densidad dentro del campo de las baterías de iones de Litio, siendo fiables y manteniendo un reducido tamaño para evitar aumentar el grosor de la tabla cuando se instalen los componentes. En concreto, las Panasonic NCR18650B han sido las elegidas por tener la mayor capacidad dentro del segmento de las 18650 (3350mAh), manteniendo un precio bastante bajo y una alta fiabilidad, siendo las utilizadas por la compañía de automóviles eléctricos Tesla como células en su batería de coche, pero en su caso utilizan 6800 células mientras que en este proyecto utilizaremos 30 para hacer un pack de 10S3P.



Figura 4-5. Batería Panasonic NCR18650B [1]

En los anexos se puede encontrar la ficha técnica con los ratios de descarga, carga y todas las propiedades de estas células.

#### 4.1.1 BMS

Como BMS se ha elegido una Bestech power HCX-D223V1 ya que funciona para el pack elegido 10s3p e incluso permitiría aumentar a 10s4p. Específicamente se ha elegido este modelo por la fiabilidad que ha demostrado en el entorno de DIY (do it yourself) en todo tipo de vehículos eléctricos. También tiene características que la diferencian del resto, como disipadores de calor e interruptor incorporado Anti-spark, lo que nos ahorra otro componente dentro del sistema eléctrico.



*Figura 4-6. BMS bestech power HCX-D223V1 [29]*

#### 4.1.2 Esquema y configuración del pack de baterías

El siguiente esquema representa la configuración deseada de 10s3p de las Panasonic 18650 elegidas:

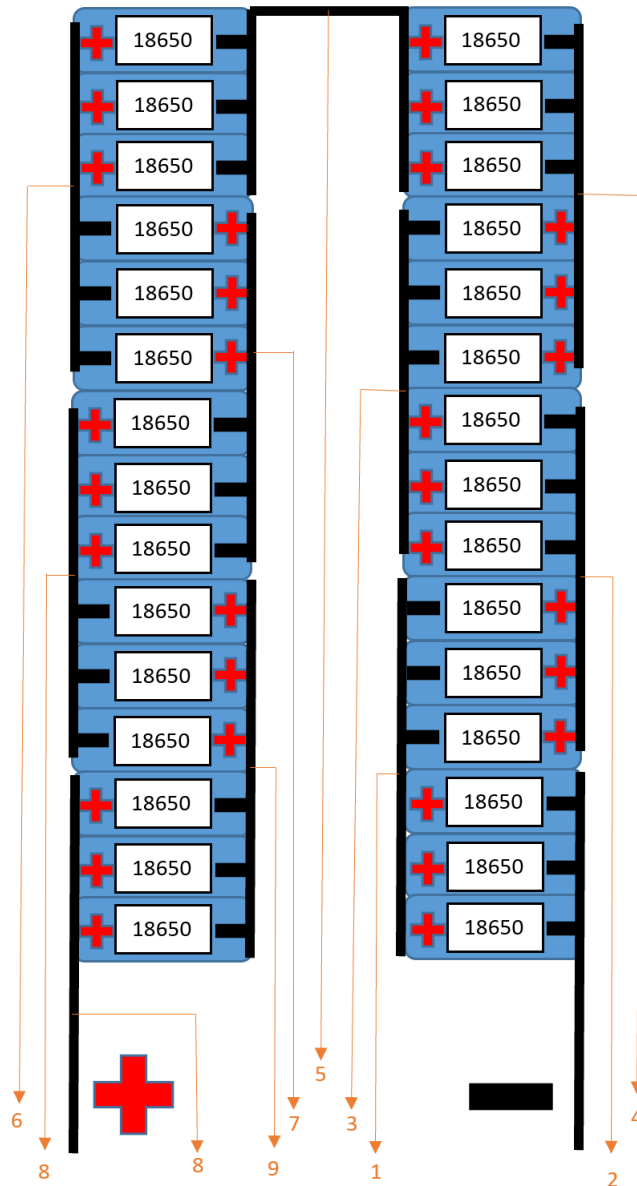


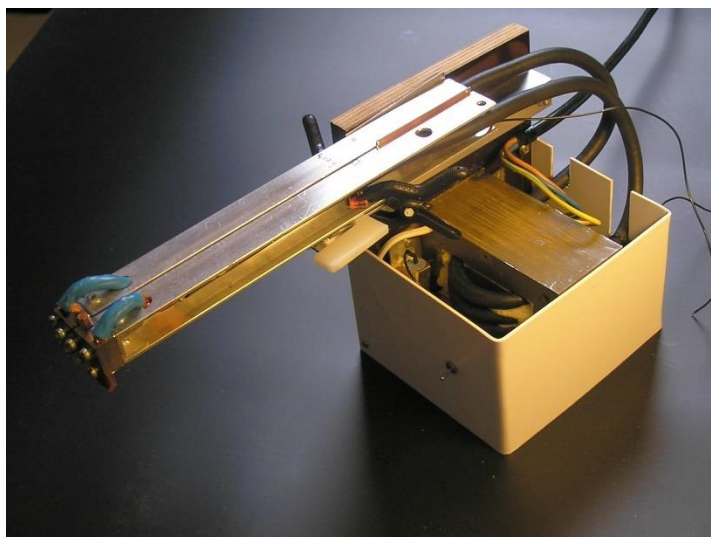
Figura 4-7. Esquema de conexión de las células en pack de baterías

Las conexiones de positivo y negativo serían los cables de descarga de la batería que van a la BMS y los cables 1-10 representan los cables de balanceo de carga de las celdas de la batería, que se conectan, igualmente, a la BMS para recibir carga tanto cuando se conecte a un transformador de 36V o cuando se regenere energía por frenada.

#### 4.1.2.1 Soldadura y protección de las células

Para la conexión de las baterías entre si se soldarán tiras de níquel, un metal muy conductor y de fácil soldadura. Para la soldadura se utilizará soldadura por punto, en el caso del prototipo V2 la soldadura se realizará con un soldador por punto casero creado a partir del transformador de un microondas, que genera un alto amperaje a un voltaje bajo a partir de la corriente de 220V de cualquier hogar.





*Figura 4-8. Soldador por puntos casero*

Este soldador concentra en dos puntos la energía consiguiendo fundir el material de un polo de la batería con la tira de níquel tal y como se muestra en la siguiente imagen:

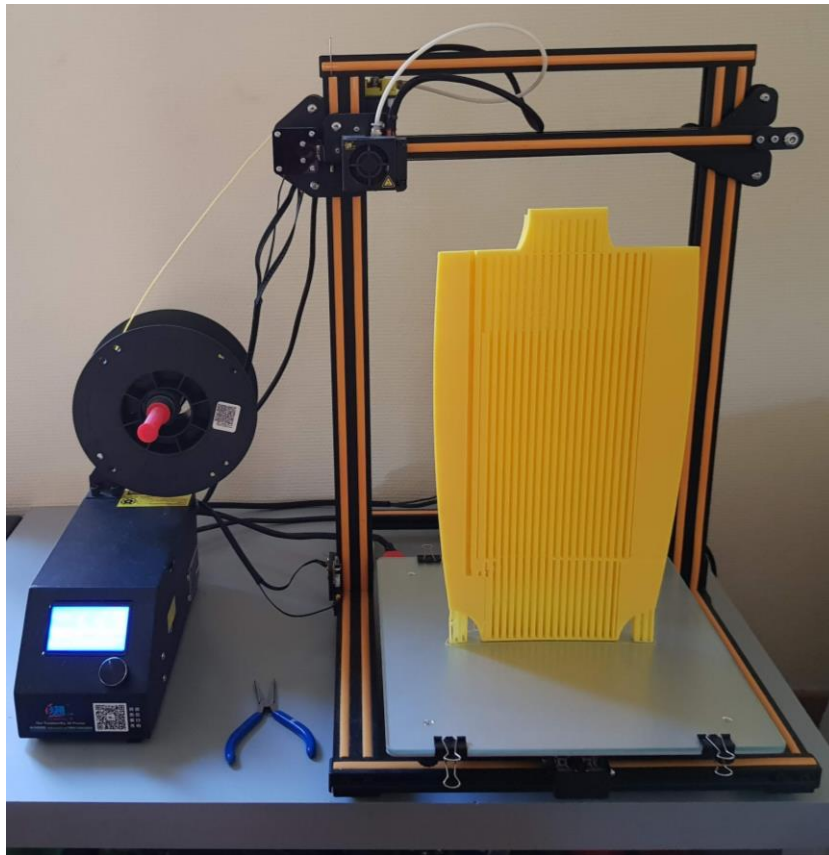


*Figura 4-9. 1s3p a partir de Panasonic 18650 soldadas por punto con una tira de níquel*

Finalmente, las conexiones con cables ordinarios se realizan por soldadura de estaño a las tiras de níquel siempre procurando no calentar demasiado las celdas. A continuación, se protegen las conexiones entre células con cinta kapton resistente a altas temperaturas.

#### **4.1.3 Protección y empaquetamiento de la batería en el sistema**

Para la protección del pack de baterías se diseña una caja de protección para todo el sistema en el que se encontrarán las baterías, la BMS y un monitor de voltaje del pack. Dicha protección se fabrica en prototipado rápido con una impresora 3D con la finalidad de proteger de agentes externos y golpes los componentes electrónicos, así como permitir flexibilidad de la tabla.



*Figura 4-10. Pieza finalizada, impresa en Creality CR-10, 50h de impresión*

Para el diseño de la pieza se ha utilizado el programa de diseño SolidWorks, siendo necesaria la obtención de mediciones desde el propio longboard y las baterías, teniendo en cuenta la dilatación que ocurre al realizar piezas en prototipado 3D a la hora del diseño. El objetivo del diseño era minimizar la altura de la pieza manteniendo rigidez estructural optima teniendo en cuenta la utilización de impresión 3D para la fabricación de la pieza que acabaría en el prototipo del sistema.

En el capítulo de anexos existen capturas isométricas de la pieza diseñada en SolidWorks.

En cuanto a la impresión 3D se ha utilizado un Creality CR-10 modificada como impresora y para la creación del programa de impresión se ha utilizado Cura. Los parámetros principales de impresión son altura de capa de 0.1mm, 0.8mm de paredes con un 50% de relleno interlineando capas para conseguir una mayor rigidez estructural, pero intentando mantener al igual una buena flexibilidad de la carcasa. Como parámetros de extrusión del plástico se ha impreso a 230°C y 40mm/s de velocidad en general y 20mm/s para las capas exteriores, consiguiendo un buen acabado superficial. Como plástico de fabricación se ha utilizado ABS amarillo de la marca Sakata. Para los soportes se ha utilizado una densidad del 15% y estructura en zig-zag. La duración de la impresión ha sido de 50h aproximadamente.

A continuación, se puede ver una imagen de la carcasa con baterías, BMS y monitor de capacidad del sistema de baterías instalados.



Figura 4-11. Carcasa con baterías, BMS y monitor de capacidad instalados

## 4.2 Periféricos

Los componentes periféricos del sistema los componen principalmente la radio y receptor de señal, se utiliza el Enertion Nano-X de 2.4Ghz, un emisor de muy reducido tamaño y ergonómico con un receptor de pequeño tamaño que cumple todos los requisitos establecidos en el anterior capítulo.



*Figura 4-12. Enertion Nano-X 2.4Ghz [13]*

Otro componente periférico que se utilizará es una pantalla de reducido tamaño para mostrar el porcentaje de batería del pack, así como el voltaje del sistema.

### **4.3 Conexiones y ensamblaje**

Para finalizar la parte de ensamblaje y unión de todo el sistema se utilizarán conectores XT60 y conectores tipo “bullet”, así como cable de silicona AWG12, que asegura buena transmisión de electricidad gracias a su baja resistencia y una alta protección ante altas temperaturas gracias al recubrimiento de silicona. Todos los componentes se sueldan con estaño y se coloca el soporte de motor junto con la transmisión. Finalmente, la disposición del longboard eléctrico queda de la siguiente manera:





Figura 4-13. Longboard eléctrico en configuración final. Vista de planta.



Figura 4-14. Longboard eléctrico en configuración final. Vista isométrica.

#### 4.4 BLDC tool

Una vez se ha terminado la parte de ensamblaje y conexionado se procede a la programación de la VESC, se trata de un proceso que se programa a través de la herramienta “BLDC tool” y, básicamente, introduce en cada VESC la información de resistividad e impedancia del motor y posición de los sensores hall que previamente ha estudiado corriendo unas pruebas de introducción de corriente a los motores. Posteriormente introduce la información de “máster” a la VESC que recibe la señal del RX y “Slave” a la otra VESC y finalmente se le introducen manualmente parámetros de los límites del transmisor de radio, límites de amperaje del motor, límites de descarga y carga de las baterías y multitud extra de parámetros.

Se puede visualizar la configuración específica de las VESC del prototipo V2 en los anexos.

#### 4.5 Resultados en pruebas reales

El resultado final de las pruebas realizadas es el representado en la siguiente tabla

Tabla 4-2. Tabla de resultados de pruebas en campo.

	Power (W)	Peso (kg)	Autonomía (km)	Vel. Máx. (km/h)	Máxima pendiente	Estética (1-10)	TX y RX (1-10)
Proto V1	6000 (Estimación)	8.3	31.2	41	18%	8	10

Las pruebas en campo realizadas tuvieron lugar en un escenario seguro, llano y fueron llevadas a cabo a temperaturas de entre 20 y 25°C, sin viento. Los resultados de las pruebas en campo son satisfactorios a falta de probar la máxima pendiente que es capaz de superar, ya que no fue posible realizar una prueba a más de 18% de inclinación.

## 5. Coste del proyecto

### 5.1 Coste de diseño

Prototipo V2			
Trabajador	Precio Unitario (€/h)	Cantidad (h)	Precio (€)
Alberto	12	350	100
TOTAL			4200

### 5.2 Coste de materiales

Prototipo V2			
Componente	Precio Unitario (€)	Cantidad	Precio (€)
Tabla	100	1	100
kit ejes, ruedas, transmisión y soporte motor	215	1	215
Motores	85	2	170
VESCs	59	2	118
Baterías	3.766666667	30	113
BMS	91	1	91
Tiras Níquel	4€/metro	1	4
soldador punto	15	1	15
Cables balanceo celdas	3	1	3
LCD batería	5	1	5
Encapsulado baterías	4	1	4
RX y TX	17	1	17
XT60	5	1	5
cables silicona	18	1	18
Hardware y misceláneos	30	1	30
TOTAL			908



## 6. LEGALIDAD Y SEGURIDAD

En el caso de los longboards eléctricos, en la mayoría de las comunidades autónomas de España esta nueva tecnología aún no se encuentra en el marco legal, por lo tanto, al no estar regulada, la fabricación y el diseño de los mismos no están limitados y se pueden conseguir límites de velocidad y potencia que serían peligrosos incluso para patinadores profesionales, por consiguiente, el uso de casco y protecciones se vuelve obligatorio y de vital importancia.

En el caso de ciudades como Madrid, Barcelona o Valencia, que vieron por primera vez estas tecnologías mucho antes que el resto de las partes de España, ya se encuentran reguladas o en proceso de regulación.

A continuación, se explican las leyes que aplican en distintas ciudades del panorama español.

### 6.1 Leyes involucradas

En España, el gobierno no considera a los longboards eléctricos como vehículos ni peatones, los denomina VMP, vehículos de movilidad personal, y actualmente existen una serie de propuestas, en su mayoría, desconocidas tanto por fuerzas de seguridad como usuarios.

En el caso de Madrid, la DGT (dirección general de tráfico), establece que los VMP se dividen en las siguientes clases, y propone la siguiente lista de características para ellos.

Características	A	B	C0	C1	C2
Velocidad máx.	20 km/h	30 km/h	45 km/h	45 km/h	45 km/h
Masa	≤ 25 kg	≤ 50 kg	≤ 300 kg	≤ 300 kg	≤ 300 kg
Capacidad máx. (pers.)	1	1	1	3	3
Ancho máx.	0,6 m	0,8 m	1,5 m	1,5 m	1,5 m
Radio giro máx.	1 m	2 m	2 m	2 m	2 m
Peligrosidad superficie frontal	1	3	3	3	3
Altura máx.	2,1 m	2,1 m	2,1 m	2,1 m	2,1 m
Longitud máx.	1 m	1,9 m	1,9 m	1,9 m	1,9 m
Timbre	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Frenada	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
DUM (distribución urbana mercancías)	NO	NO	NO	NO	SÍ
Transporte viajeros mediante pago de un precio	NO	NO	NO	SÍ	NO

Los VMP se clasifican en función de la altura y de los ángulos peligrosos que puedan provocar daños a una persona en un atropello. Se definen como ángulos peligrosos aquellos inferiores a 110° orientados en sentido de avance del VMP, o verso el conductor o pasajeros.



Figura 6-1. Propuesta de la DGT para diferenciación de VMP [28]

Los longboards eléctricos entrarían dentro de la primera y segunda clase (A y B), siendo sus limitaciones, en la clase A: 20km/h de velocidad, menos de 25kg de masa, una persona máxima de capacidad, 0.6 metros máximos de ancho, 1m de radio de giro, nivel 1 de peligrosidad por superficie frontal, 2.1m máximos de altura y no tener obligación de timbre y frenos y no poder ser vehículos de distribución urbana de mercancías (DUM) ni transporte de viajeros mediante pago de un precio.

En el caso de Valencia, el gobierno propone que los VMP puedan circular por los carriles bici a una velocidad menos a 15km/h y queda prohibido transitar por aceras, plazas y paseos, aunque sí que podrán circular por las aceras, siempre y cuando éstas tengan más de tres metros de ancho. Tan solo en el caso de los parques o espacios públicos, en el supuesto de que sean lo suficientemente grandes, el consistorio estudiará habilitar espacios para estos vehículos. En cuanto a las multas, desde 90 hasta 500 € según la gravedad pueden ser impuestas por transitar por la acera hasta suponer un perjuicio sobre mobiliario urbano en el caso de las infracciones leves y las graves o muy graves pueden ser por transitar con VMP siendo arrastrados por otros vehículos o poner en peligro a los demás.

Desde marzo de 2017 en Barcelona existe una propuesta sobre movilidad personal electrificada, que, al igual que Madrid, regula los tipos de VMP que existen y limita su uso. Se trata de la misma diferenciación que hace la DGT. En cuantos a los ámbitos de circulación regula los siguientes, en referencia a los longboards eléctricos:

- Circulación por la acera: No está permitida.
- Calle con plataforma única: Si la zona es exclusiva para peatones, solo pueden circular a un máximo de 10 km/h.
- Carril bici en la acera: Se permite la circulación de todas las tipologías (A, B, C1 y C2), siempre que la anchura de la infraestructura ciclista lo permita. A un máximo de 10km/h.
- Carril bici en la calzada: Se permite la circulación de todas las tipologías (A, B, C1 y C2) por estos carriles, a un máximo de 30 km/h.
- Calzada: No se permiten vehículos de tipo A
- Parques: Se permite a una velocidad máxima de 10 km/h

En conclusión, a medida que aumenta la presencia de vehículos eléctricos en el paisaje urbano, ocurre la necesidad de cierta regulación, pero la velocidad de reacción de la legislación no es equiparable a la velocidad en la que crece la tecnología y, por consiguiente, emergen nuevas tecnologías que se encuentran en un “vacío legal” que puede ser peligroso a la hora de crear una empresa o producto que luego puede llegar a ser ilegal. En el caso de este proyecto, según la propuesta de Madrid y la DGT, se necesitaría incorporar en el prototipo de un limitador de velocidad, posibilidad de fácil implementación a través de la programación de la VESC. Por lo tanto, en cuanto la propuesta se convierta en ley se hará dicha modificación.

## **7. CONCLUSIONES**

### **7.1 Conclusiones TFG**

A lo largo de este proyecto, y desde que nació la idea del primer prototipo, el aprendizaje sobre las nuevas tecnologías y las formas de movilidad que reduzcan la contaminación y aumenten la eficacia de los movimientos de personas ha sido la principal motivación de ambos proyectos, por lo tanto, como la tecnología sigue creciendo y la necesidad de vehículos eficientes y limpios también, este proyecto seguirá creciendo y mejorándose siempre. El aprendizaje obtenido tras la realización del proyecto se encuentra dentro de distintos marcos de la ingeniería y complementa con generosidad el aprendizaje dentro del grado de ingeniería mecánica y en muchos ámbitos lo supera, por lo que no solo se ha tratado de una complementación sino de una extensión de conocimientos fuera de las pautas marcadas por la universidad y conlleva un enriquecimiento del alumno en muchos niveles.

En cuanto a los objetivos del proyecto, los resultados son satisfactorios y dan lugar a aumentar la eficiencia del sistema con propuestas como motores hub, motores introducidos en las ruedas del propio longboard, la creación de sistemas de baterías más eficientes o reducir el peso de todo el sistema con tablas de materiales compuestos y específicamente diseñadas para ser la base de un vehículo de movilidad personal electrificado desde el principio.

### **7.2 Conclusiones sobre proyecto emprendimiento innovador**

En cuanto a al proyecto de emprendimiento innovador se refiere, aún se requiere la realización de un estudio de mercado que evalúe el estado del mismo y la posibilidad de entrada al mercado y los requerimientos que conllevará. Como consecuencia de esta necesidad de realización de un estudio de mercado y estudio del propio proyecto para poder ser llevado adelante en un proyecto de innovación, se ha participado en el programa “TFG emprende”, programa que ayudará a considerar la viabilidad del producto en un mercado que está en auge, pero en el que ya hay competidores muy bien asentados.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

1. Na.industrial.panasonic.com. (2018). [online] Available at: [https://na.industrial.panasonic.com/sites/default/pidsa/files/downloads/files/panasonic\\_overview\\_information\\_on\\_li-ion\\_batteries.pdf](https://na.industrial.panasonic.com/sites/default/pidsa/files/downloads/files/panasonic_overview_information_on_li-ion_batteries.pdf) [Accessed 13 Jun. 2018].
2. Triviño, N. (2015). MODULAR ELECTRIC LONGBOARD. University of Illinois at Urbana-Champaign.
3. Arellano, D. (2012). CONTROL DE UN MOTOR BRUSHLESS\_APLICACIÓN A VEHÍCULOS ELÉCTRICOS. [online] Scribd. Available at: <https://es.scribd.com/document/115829959/CONTROL-DE-UN-MOTOR-BRUSHLESS-APLICACION-A-VEHICULOS-ELECTRICOS> [Accessed 13 Jun. 2018].
4. Rowe, A. (2016). Motor Control of a Hub Motor for Electric Skateboard Propulsion. Thesis for masters in engineering. New Zealand.
5. ACTON. (2018). BLINK Go. [online] Available at: <https://www.actonglobal.com/products/blink-go> [Accessed 13 Jun. 2018].
6. Greenfacts.org. (2018). Consenso Científico sobre Cambio climático: Impactos, adaptación y vulnerabilidad RInforme del IPCC de 2014 Working Group II. [online] Available at: <https://www.greenfacts.org/es/cambio-climatico-impactos-adaptacion/index.htm> [Accessed 13 Jun. 2018].
7. DIY Electric Skateboard. (2018). Dual Motor Mechanical Kit. [online] Available at: <https://diyelectricskateboard.com/collections/dual-motor-mechanical-kit/products/dual-motor-mechanical-kit> [Accessed 13 Jun. 2018].
8. YUNEEC. (2018). E-GO 2 - Overview - Yuneec. [online] Available at: [https://www.yuneec.com/en\\_GB/e-longboards/e-go2/overview.html](https://www.yuneec.com/en_GB/e-longboards/e-go2/overview.html) [Accessed 13 Jun. 2018].
9. Enertionboards.com. (2018). Enertion Raptor 2 Most powerful direct drive electric skateboard. [online] Available at: <http://www.enertionboards.com/> [Accessed 13 Jun. 2018].
10. Inboard Technology. (2018). Inboard M1 Electric Skateboard. [online] Available at: <https://www.inboardtechnology.com/products/m1-electric-skateboard> [Accessed 13 Jun. 2018].
11. Marull, D. (2018). España, el país de Europa ‘con mayor densidad’ de población. [online] La Vanguardia. Available at: <http://www.lavanguardia.com/vida/20180126/44292753470/espana-europa-densidad-poblacion-estudio-barcelona-madrid.html> [Accessed 13 Jun. 2018].
12. Enertion boards. (2018). FOCBOX Motor Controller. [online] Available at: <http://www.enertionboards.com/electric-skateboard-parts/FOCBOX-programmable-brushless-motor-controller/> [Accessed 13 Jun. 2018].
13. Hobbyking. (2018). Radio Control Planes, Drones, Cars, FPV, Quadcopters and more - Hobbyking. [online] Available at: [https://hobbyking.com/en\\_us](https://hobbyking.com/en_us) [Accessed 13 Jun. 2018].

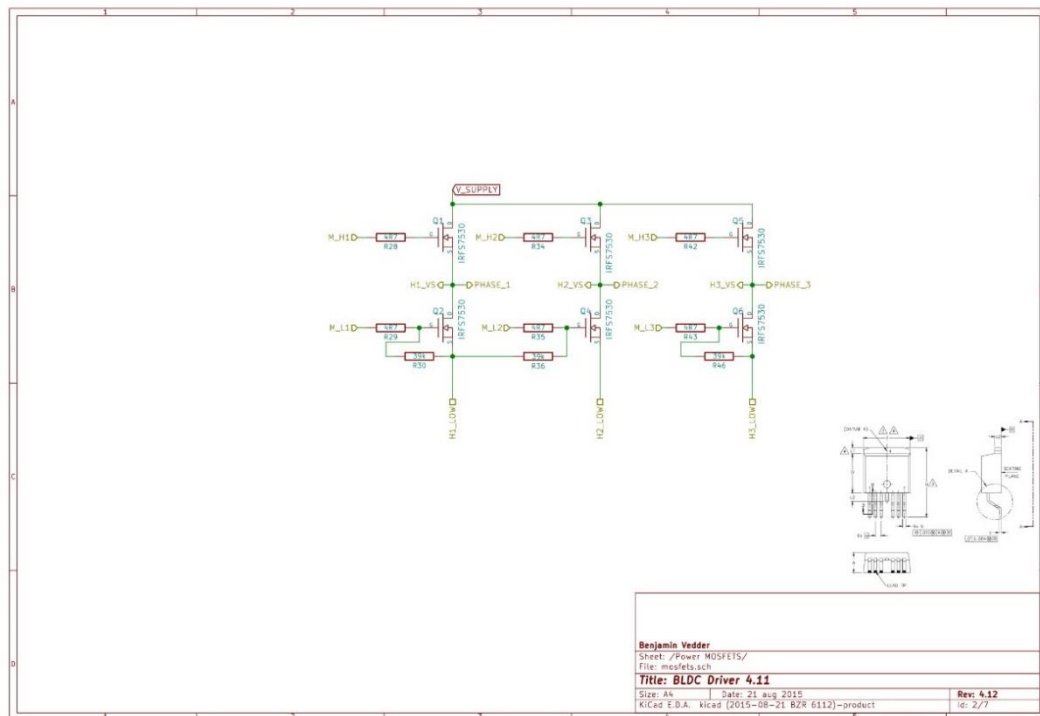
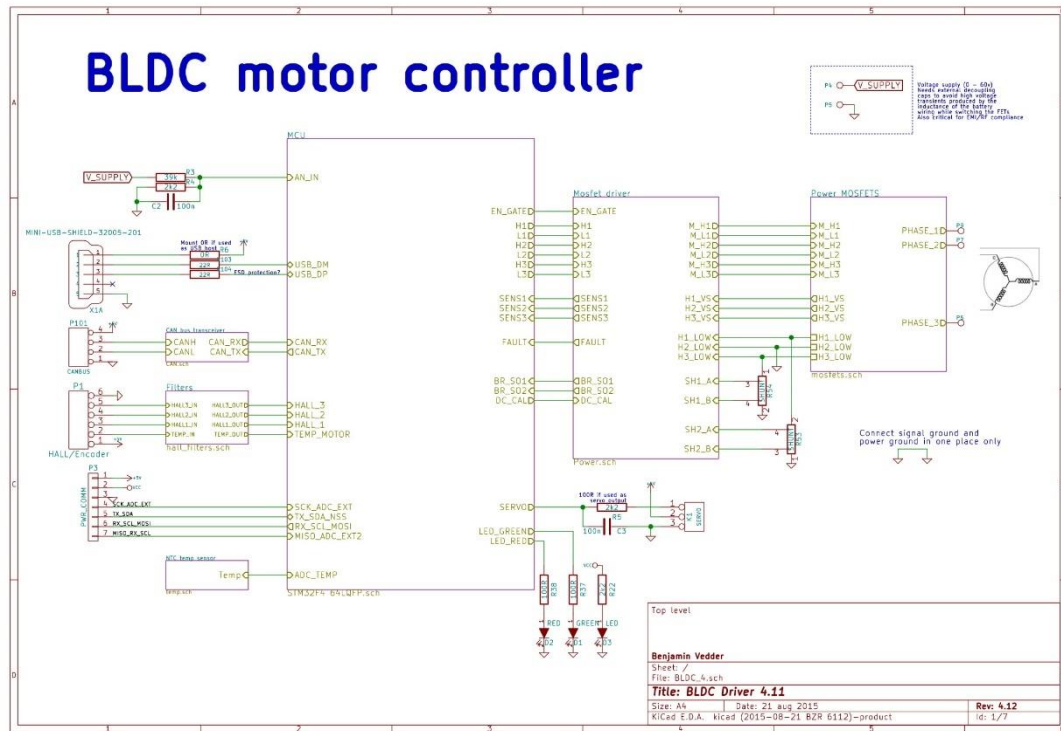
15. Rodríguez, R., Carrasco, C., Pineda, G., CAMPO, A., Cerdas-Albertazzi, J., R, J., Hernández, J., Bojorquez, S., Magaña, R. and NIÑO, M. (2018). ¿Qué es el estado del arte? [online] Normasapa.net. Available at: <http://normasapa.net/que-es-el-estado-del-arte/> [Accessed 13 jun. 2018].
16. Boostedboards.com. (2018). The Next Generation of Boosted Boards. [online] Available at: <https://boostedboards.com/> [Accessed 13 jun. 2018].
17. Rodríguez Pintor, J. (2015). Control de velocidad de motores BLDC, mediante sistemas basados en Arduino para aplicaciones en vehículos eléctricos. [online] Uvadoc.uva.es. Available at: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/13172/1/TFG-P-246.pdf> [Accessed 13 Jun. 2018].
18. M. Fernandes da Silva, F. Fonseca Bastos, D. S. da Silva Casillo and L. A. Casillo, "Parameters Identification and Analysis of Brushless Direct Current Motors," in IEEE Latin America Transactions, vol. 14, no. 7, pp. 3138-3143, July 2016. doi: 10.1109/TLA.2016.7587613. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7587613&isnumber=7587597> [Accessed 13 Jun. 2018].
19. J.-M. Tarascon and M. Armand (2010) Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries. Materials for Sustainable Energy: pp. 171-179. [https://doi.org/10.1142/9789814317665\\_0024](https://doi.org/10.1142/9789814317665_0024) [Accessed 13 Jun. 2018].
20. Vedder, B. (2018). VESC – Open Source ESC | Benjamin's robotics. [online] Vedder.se. Available at: <http://vedder.se/2015/01/vesc-open-source-esc/> [Accessed 13 Jun. 2018].
21. Huerta, I. (2014). GESTOR DE CARGA DE BATERÍAS (BMS). [http://riubu.ubu.es/bitstream/10259/3539/1/Huerta\\_Illera.pdf](http://riubu.ubu.es/bitstream/10259/3539/1/Huerta_Illera.pdf)
22. abc. (2018). Madrid acoge un nuevo vehículo de moda «al margen de la ley»: los patinetes eléctricos. [online] Available at: [http://www.abc.es/motor/reportajes/abci-madrid-acoge-nuevo-vehiculo-moda-margen-ley-patinetes-electricos-201712230206\\_noticia.html](http://www.abc.es/motor/reportajes/abci-madrid-acoge-nuevo-vehiculo-moda-margen-ley-patinetes-electricos-201712230206_noticia.html) [Accessed 19 jun. 2018].
23. Mcloughlin, M. (2018). Madrid no es para patinetes eléctricos: Nos prohíben circular por la acera y la carretera. Noticias de Tecnología. [online] El Confidencial. Available at: [https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2018-04-29/patinete-electrico-xiaomi-madrid-circular\\_1555692/](https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2018-04-29/patinete-electrico-xiaomi-madrid-circular_1555692/) [Accessed 19 jun. 2018].
24. Tecnocio Blog. (2018). Normativa de legislación de patinetes eléctricos en Madrid. <https://www.tecnocio.com/blog/normativa-legislacion-patinetes-electricos-madrid/>
25. Tecnocio Blog. (2018). Valencia publica su nueva normativa sobre patinetes eléctricos. [online] Available at: <https://www.tecnocio.com/blog/valencia-nueva-normativa-patinetes-electricos/> [Accessed 19 Jun. 2018].
26. Blog de Bienveo. (2018). Barcelona aprueba una normativa para patinetes eléctricos. [online] Available at: <https://www.bienveo.com/blog/todo/barcelona-aprueba-una-normativa-patinetes-electricos/> [Accessed 19 Jun. 2018].

27. Mobilitat.ajuntament.barcelona.cat. (2018). Nueva regulación de vehículos de movilidad personal y ciclos de más de dos ruedas | Movilidad | Ayuntamiento de Barcelona. [online] Available at: <http://mobilitat.ajuntament.barcelona.cat/es/noticia/nueva-regulacizen-de-vehzculos-de-movilidad-personal-y-ciclos-de-mzas-de-dos-ruedas> [Accessed 19 Jun. 2018].
28. Dgt.es. (2018). [online] Available at: [http://www.dgt.es/Galerias/seguridad-vial/normativa-legislacion/otras-normas/modificaciones/2016/Instr\\_16\\_V\\_124\\_Vehiculos\\_Movilidad\\_Personal.pdf](http://www.dgt.es/Galerias/seguridad-vial/normativa-legislacion/otras-normas/modificaciones/2016/Instr_16_V_124_Vehiculos_Movilidad_Personal.pdf) [Accessed 19 Jun. 2018].
29. Bestechpower.com. (2018). Battery Protection Circuit Module (PCM) for 37V 10 cells in series Li-ion/Li-Polymer Battery Packs. [online] Available at: <http://bestechpower.com/37v10spcmbmspcbforli-ionli-polymerbatterypack/PCM-D223V1.html> [Accessed 19 Jun. 2018].

## 9. ANEXO

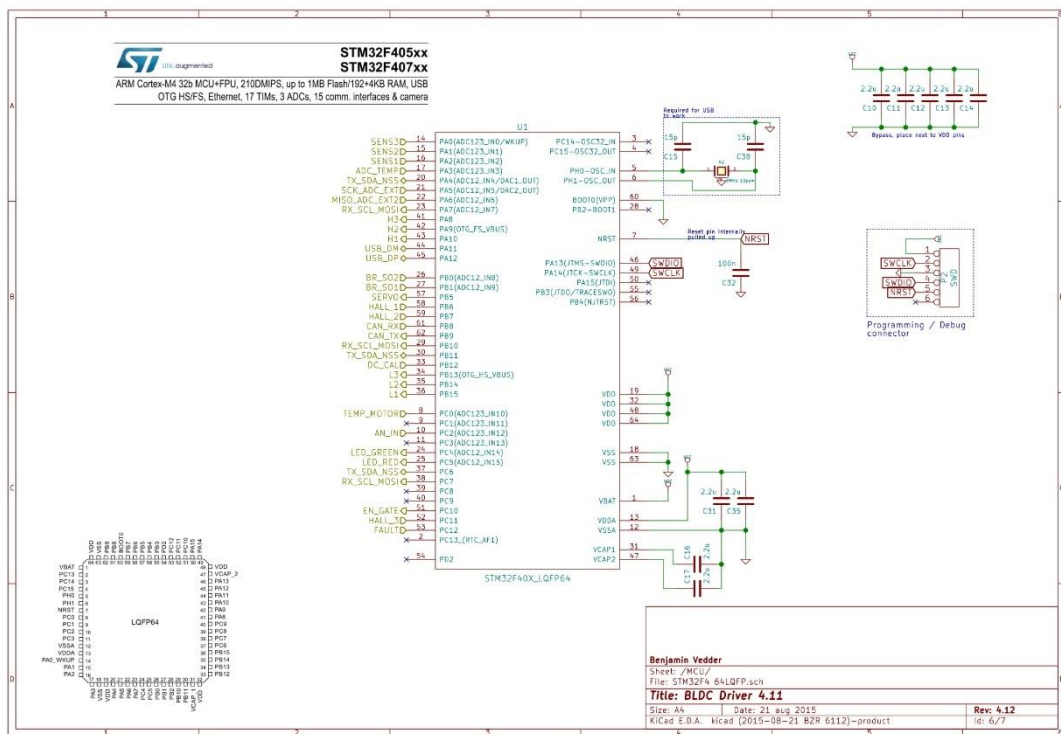
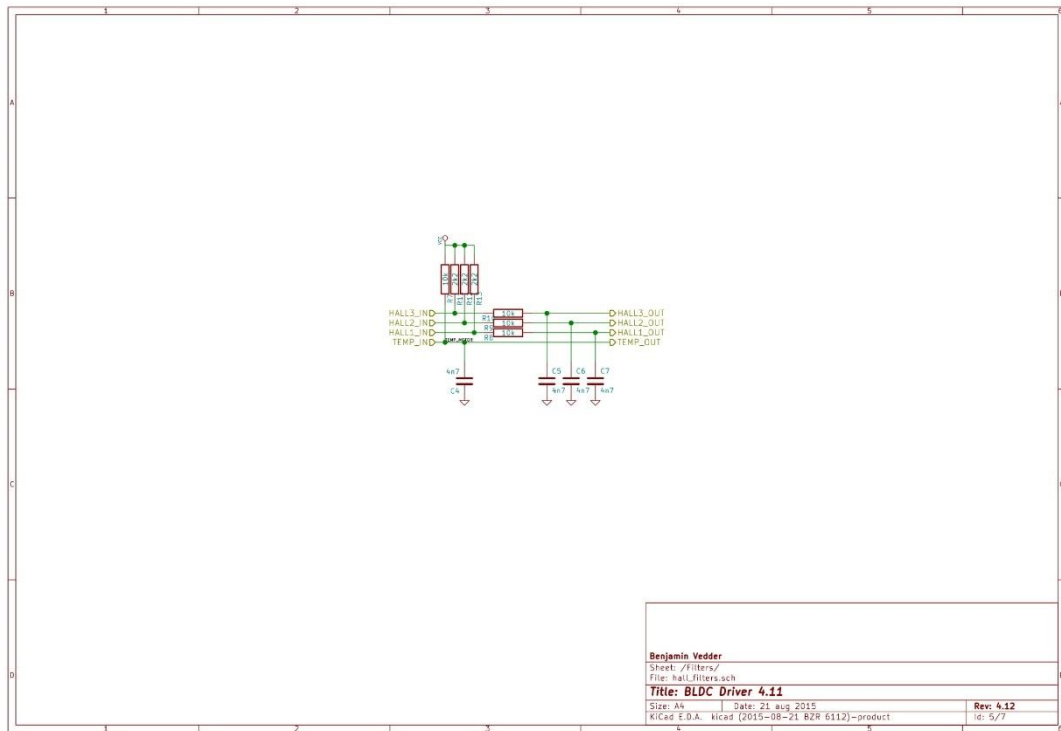
### 9.1 V-ESC [20]

Esquemática de componentes internos de una controladora de motores VESC.

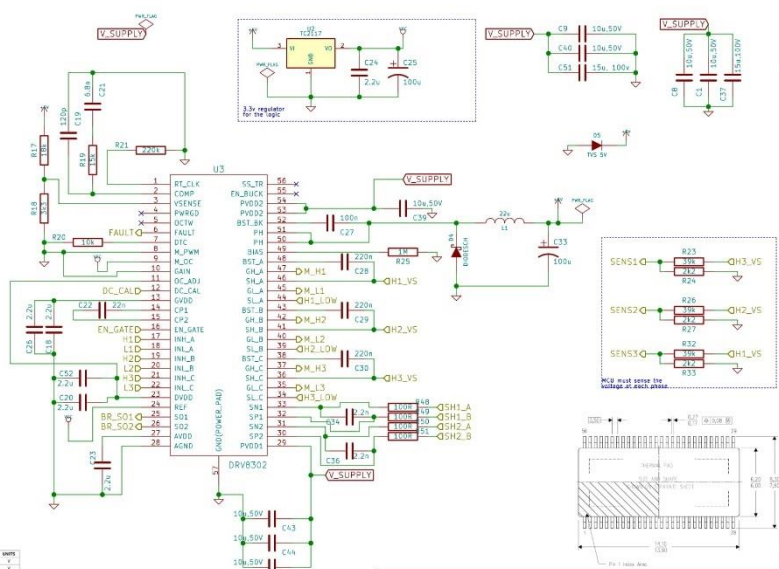








- Operating Supply Voltage 8V-60V
- 2.3A Sink and 1.7A Source Gate Drive Current Capability
- Integrated Dead State Current Amplifiers With Adjustable Gain and Offset
- Integrated Buck Converter to Support up to 1.5A External Load
- Independent Control of 3 or 6 PWM Inputs
- Bootstrapped Gate Driver With 100% Duty Cycle Support
- Programmable Dead Time to Protect External FETs from Shoot Through
- Programmable Overcurrent Protection of External MOSFETs
- Thermally Enhanced 56-Pin TSSOP Pad Down DCA Package

[illegible]

Size: A4	Date: 21 aug 2015
KiCad E.D.A. kicad (2015-08-21 BZR 6112)-product	

Page 412

## 9.2 Batería- Panasonic 18650 [1]

# Panasonic Lithium Ion NCR18650B

### Features & Benefits

- High energy density
- Long stable power and long run time
- Ideal for notebook PCs, boosters, portable devices, etc.

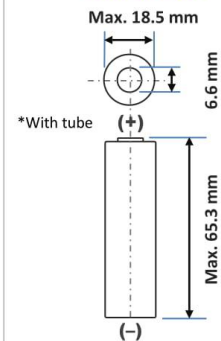
\* At temperatures below 10°C, charge at a 0.25C rate.

### Specifications

Rated capacity <sup>(1)</sup>	Min. 3200mAh
Capacity <sup>(2)</sup>	Min. 3250mAh Typ. 3350mAh
Nominal voltage	3.6V
Charging	CC-CV, Std. 1625mA, 4.20V, 4.0 hrs
Weight (max.)	48.5 g
Temperature	Charge*: 0 to +45°C Discharge: -20 to +60°C Storage: -20 to +50°C
Energy density <sup>(3)</sup>	Volumetric: 676 Wh/l Gravimetric: 243 Wh/kg

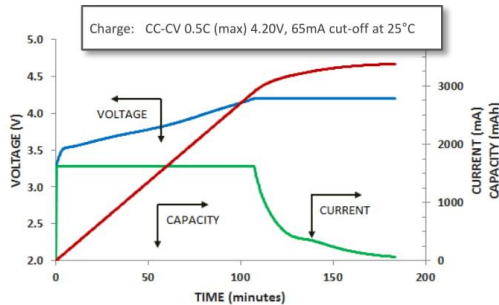
<sup>(1)</sup> At 20°C <sup>(2)</sup> At 25°C <sup>(3)</sup> Energy density based on bare cell dimensions

### Dimensions

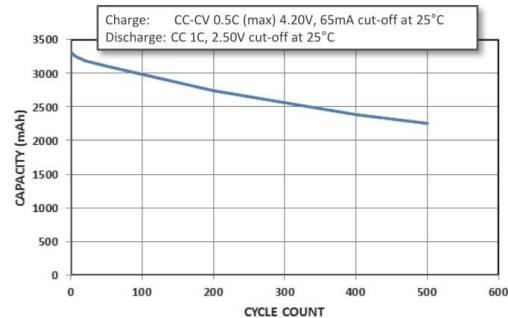


For Reference Only

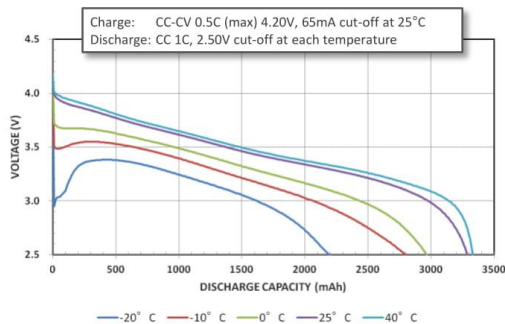
### Charge Characteristics



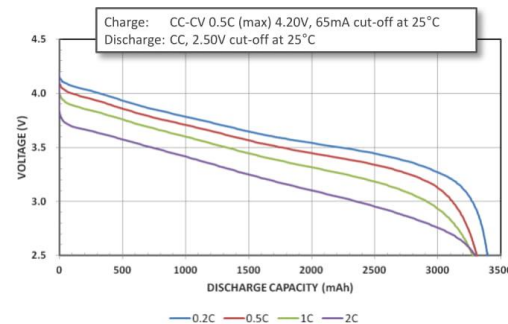
### Cycle Life Characteristics



### Discharge Characteristics (by temperature)



### Discharge Characteristics (by rate of discharge)



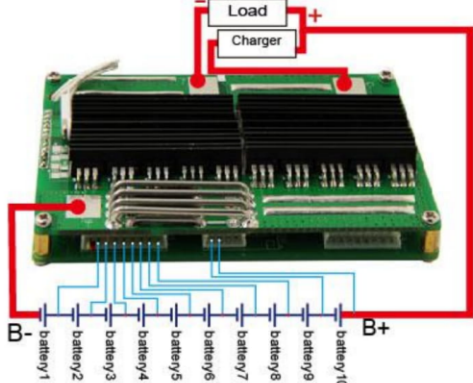
The data in this document is for descriptive purposes only and is not intended to make or imply any guarantee or warranty.

For more information on how Panasonic can assist you with your battery power solution needs, visit us at [www.panasonic.com/industrial/batteries-oem](http://www.panasonic.com/industrial/batteries-oem), e-mail [secsales@us.panasonic.com](mailto:secsales@us.panasonic.com), or call (469) 362-5600.

## 9.3 BMS [29]

Data Sheet

Item	Contents		Criteria(Adjustable)
1	Model	HCX-D223V1LI10S80A-06	10S--80A working current
2	Voltage	Charging voltage	42V
3	Current	Maximal continuous charging current	20A
		Maximal continuous discharging current	80A
		Current consumption	≤20μA
4	Overcharge Protection	Over charge detection voltage	4.28V±0.025V
		Over charge detection delay time	0.5~2S
		Over charge release voltage	4.08V±0.05V
5	Over Discharge Protection	Over discharge detection voltage	3.00V±0.05V
		Over discharge detection delay time	50~200mS
		Over discharge release voltage	3.00V±0.1V
6	Over Current Protection	Over current detection voltage	0.1V~0.2V
		Over current detection current	200A±40A
		Detection delay time	5~20mS
		Release condition	Cut load,automatically recover
7	Short Circuit Protection	Detection condition	Exterior shot circuit
		Detection delay time	200~500uS
		Release condition	Cut load,automatically recover
8	Balance	Balance voltage for single cell	4.2V±0.025V
		Balance current for single cell	126mA±15mA
9	Resistance	Inner resistance	≤20mΩ
10	Temperature	Operating temperature range	0 ~ +85°C
		Storage temperature range	0 ~ +85°C
11	Size (L*W*T)	L120mm * W80mm * T25mm	



**Remarks:**

With E-Switch/ON-OFF Switch  
During charging and discharging,  
The Switch should be on(connected)

Charge,Discharge at different Port  
P+=B+/Charge+/Discharge+  
Ch-=Charge-  
P-= Discharge-

\*Note:Characteristics subject to change without notice.

Tele:+86 755 29454916

Bestech Power Co.,Ltd

Fax:+86 755 29454917

3F,Bldg3,Fulian Industrial Park,Heping Industrial area,Jianhui Rd,Longhua,ShenZhen,China.

中国广东省深圳市龙华和平路和平工业区建辉路 82 号旭辉富联工业园 2 期 3 栋 3 楼。

Website: <http://www.BesTechPower.com>

<http://www.BatteryBMS.com>

E-mail: [sales@BesTechPower.com](mailto:sales@BesTechPower.com)

#### 9.4 Diseño de cubrebaterías hecho en SolidWorks

